



Miljönyttomodell

Kartläggning av systemeffekter av biokol i
lantbruket



Förord

Denna rapport ingår som en delrapport i projektet Kolsänksrätter med biokol. Projektets syfte är att skapa en fungerande marknad för kolsänksrätter som skapas med hjälp av användning av biokol. För att skapa en marknad som fungerar tryggt för både köpare och säljare behövs en standard som kolsänksrätterna kan bli certifierade med. En del i arbetet med att ta fram en bra standard är att undersöka olika delar av hur biokol kan användas i praktiken inom lantbrukssektorn, där det finns stor potential att skapa långvariga och stora kolsänkor i Sverige.

Biokol som används som en kolsänka inom lantbruk har flera effekter på de omkringliggande systemen. En del av dessa effekter är mycket komplexa och därför svåra att räkna ut den direkta klimatpåverkan från. Trots det kan de vara signifikanta för systemet i sin helhet, och i den här rapporten kallar vi dem för miljönyttor. Rapporten ska ses som en introduktion där många av biokolets miljönyttor och effekter i korthet diskuteras.

Filip Celandier har tillsammans med Helena Söderqvist, från 2050 Consulting, genomfört litteraturstudien och författat rapporten. Cecilia Hermansson har varit projektledare.

Projektet har finansierats av Landsbygdsprogrammet 2014–2020 vilket delvis finansieras av Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling. Projektägare är Hushållningssällskapet Sjuhärad och samarbetspartners är Hjelmstätens Egendom, HS Certifiering, IVL Svenska miljöinstitutet, och ZeroMission.

/Projektgruppen

September 2021



Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling. Europa investerar i landsbygdsområden

Sammanfattning

Biokol kan användas för att lagra in kol och göra klimatnytta, men när det används inom lantbruket bidrar det även till flera andra nyttor som i den här rapporten kallas miljönyttor. Rapporten har producerats som ett komplement till den beräkningsmodell som används för att skapa en certifieringsstandard inom projektet Kolsänksrätter med biokol.

Rapportens systemgränser följer biokolets väg från uttag av biomassa, till energisystemet, användning i foder och strömedel och slutligen användning i mark. Inom dessa fyra områden har en översiktlig genomgång av 40 miljöeffekter gjorts. Förutom en kort beskrivning av den vetenskapliga bakgrunden har varje miljönytta kategoriserats för att ge en uppfattning om hur säker information som finns och hur stor klimateffekt den har. Hur säker informationen är beror till stor del på hur komplex miljönyttan är och på hur mycket forskning som finns tillgänglig. Miljöeffekter kan även ha olika stor klimateffekt, eller vara beroende av systemet i övrigt.

Analysen visar att biokol bidrar positivt till både klimat och andra miljöeffekter. Därför kommer kolsänksrätter som skapats med beaktande av systemberoende effekter sannolikt ha en starkare klimatnytta än vad beräkningsmodellen kan bevisa. Att bevisa storleken av effekterna av biokol är svårt, och därför behövs mer forskning och fler fältförsök. Först när nyttorna på ett tydligt och konsekvent sätt kan beräknas kan de tas med i en standardiserad marknad för kolsänkor med biokol.

Innehåll

1	Introduktion	1
2	Systemgränser och avgränsningar	2
3	Metod.....	3
4	Resultat	6
4.1	Systemeffekter: uttag av biomassa.....	6
4.1.1	Minskad metanavgång från naturlig nedbrytning.....	7
4.1.2	Minskat kväveförråd i mark.....	7
4.1.3	Påverkan halter av tungmetaller	7
4.1.4	Kväveförlust i pyrolys/förbränning.....	8
4.1.5	Risk för markkonflikter	8
4.1.6	Påverkan på biodiversitet	9
4.1.7	Nedbrytning av skadliga ämnen och organiska miljögifter.....	9
4.1.8	Påverkan på långsiktig produktivitet + Ökat behov av växtnäring.....	10
4.1.9	Ev. substitution av restströmmens funktion	10
4.2	Systemeffekter: energisystem	11
4.2.1	Projektspecifikt nettoutbyte av energi	12
4.2.2	Påverkat fossilberoende	12
4.2.3	Ökad möjlighet att optimera energisystemet.....	13
4.3	Systemeffekter: biokol i foder eller strömedel	13
4.3.1	Bättre allmänhälsa + Minskat behov av veterinärvård.....	14
4.3.2	Minskad gödsellukt.....	14
4.3.3	Minskad metanavgång	15
4.3.4	Snabbare viktuppgång + Fler värpägg.....	15
4.3.5	Minskad antibiotikaanvändning	16
4.3.6	Lägre celltal & högre proteinhalt i mjölk	16
4.3.7	Minskad ammoniakavgång i ströbädd	16
4.4	Systemeffekter: biokol i mark	17
4.4.1	Minskat behov av bevattning + Ökad resiliens mot torka & skyfall	17
4.4.2	Förändrad albedo.....	18

4.4.3	Ökad skörd	18
4.4.4	Minskad lustgasavgång	19
4.4.5	Minskad metanavgång	19
4.4.6	Minskat behov av växtnäring + Minskat näringsläckage.....	20
4.4.7	Minskat behov av kalk	20
4.4.8	Minskat behov av torv	21
4.4.9	Minskat behov av markarbete	21
4.4.10	Mer biologisk mångfald + Mer vitala ekosystem	22
4.4.11	Ökad livsmedelssäkerhet	22
4.4.12	Minskade pesticidhalter	22
4.4.13	Återställning av utarmade jordar	23
4.4.14	Påverkan Soil Organic Carbon (SOC) genom priming	23
5	Sammanställt resultat	25
6	Slutsatser	26
	Övervägande positivt.....	26
	Särskilt betydelsefulla effekter	26
	Transparens är viktigt.....	26
	Nästa steg	27
7	Referenser	28

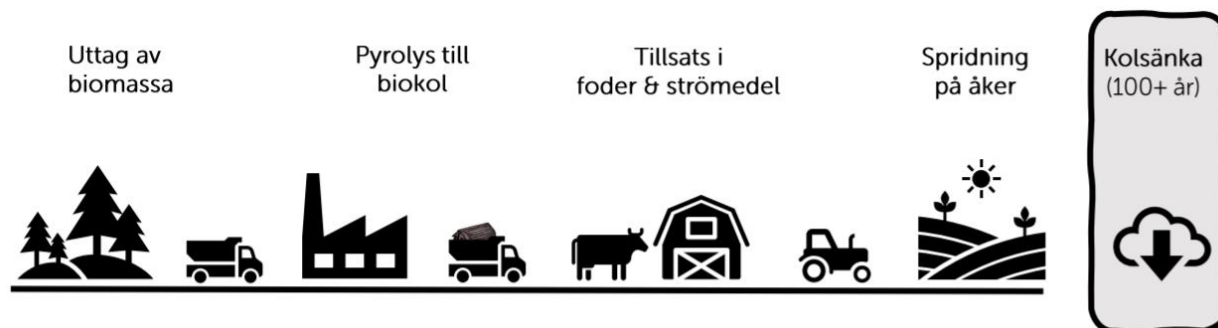
1 Introduktion

Biokol kan användas som ett sätt att lagra in kol från atmosfären under lång tid.

Forskningsvärlden är på god väg att hitta det bästa sättet att beräkna klimatnyttan från biokol, men det finns fler nyttor med att använda biokol inom lantbruket än för klimatets skull. Dessa nyttor, som i den här rapporten benämns miljönyttor, är ibland svåra att sätta siffror på. De kan vara diffusa, som minskad gödsellukt, komplexa, som lustgasavgång från mark, eller relativa, som påverkan på skördens storlek. Även om de är svåra att beräkna är de ändå viktiga att ha med i diskussionen om biokol och om lantbruket. Ett av rapportens mål har varit att inkludera även de miljönyttor som är svåra att beskriva och kvantifiera för att skapa diskussion runt dem och inspiration att ta reda på mer.

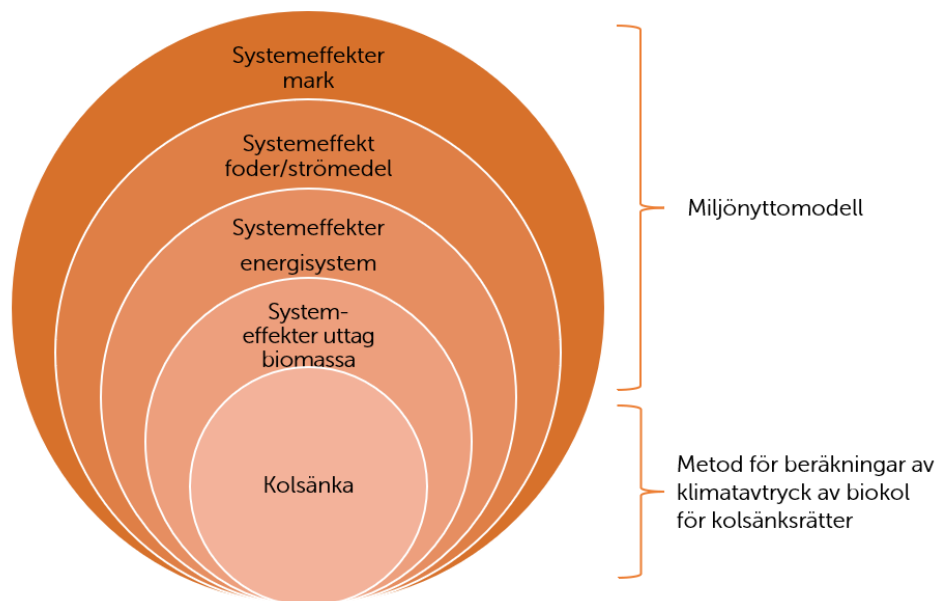
I den här rapporten presenteras 40 olika effekter inom de systemgränser som har satts upp. Sammanfattningen visar att det finns ett stort behov av mer forskning om de flesta av miljönyttorna. Trots osäkerheten runt flera aspekter har biokol ändå potential att starkt bidra till både en minskad klimatförändring och till bättre miljö.

2050 Consulting har på uppdrag av Hushållningssällskapet Sjuhärad tagit fram en miljönyttomodell vars syfte är att kartlägga och analysera de olika systemeffekter som uppkommer när biokol tillämpas i lantbruket. Figur 1 nedan illustrerar den process som miljönyttomodellen inbegriper.



Figur 1. Illustrerar biokolsprocessen som miljönyttomodellen avser.

Modellen är ett komplement till den kvantitativa metod för beräkning av kolsänkan som används inom projektet Kolsänksrätter med biokol för att ta fram en certifieringsstandard för kolsänksrätter. Syftet med miljönyttomodellen är att kartlägga möjliga systemeffekter med påverkan på klimat eller andra framträdande miljöeffekter som uppstår när biomassa pyrolyseras och sedan tillförs lantbruket. Dessa systemeffekter uppstår i fyra faser, vilket illustreras i figur 2 nedan.

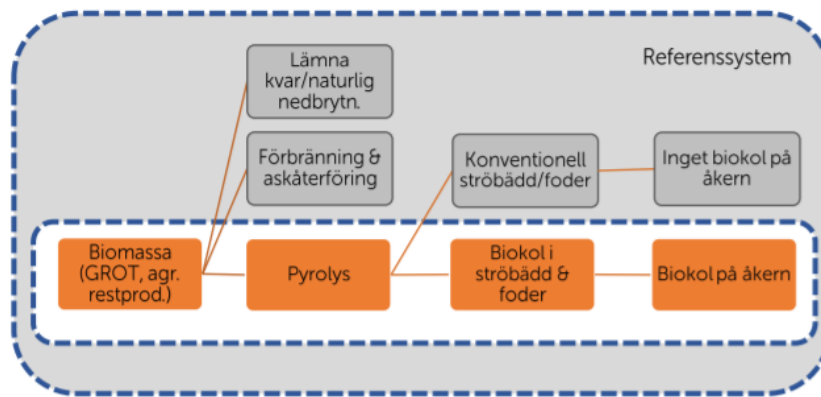


Figur 2. Systemeffekter uppstår i miljönyttomodellens fyra olika faser.

2 Systemgränser och avgränsningar

Biokol har många olika slutapplikationer i flertalet samhällssektorer, t.ex. urbana och industriella tillämpningar. Denna modell avser biokolets systemeffekter i lantbruket. Med "miljönyttomodell" avses effekter som har relevans inom miljö- och klimatområdet. Ekonomiska, sociala och etiska effekter har ej beaktats.

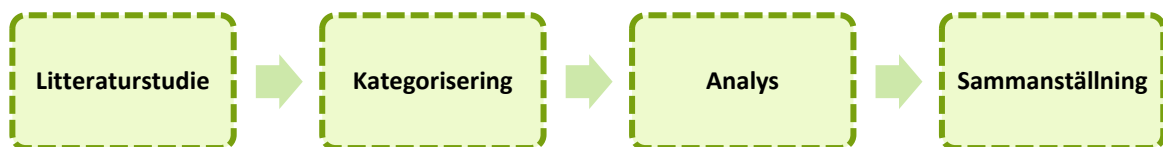
När systemeffekter ska kartläggas är det centralt att redovisa vilket system som är referensscenario, detta illustreras i figur 3 nedan. Systemet består av fyra delar; uttag av biomassa följt av pyrolys, biokol som tillsats i foder eller strömedel och slutapplikation av biokol i mark. Som synes börjar systemet med ett uttag av agrara restprodukter, t.ex. GROT (grenar och toppar), halm, presskakor m.m. Alternativet i denna fas är att låta restprodukterna brytas ned naturligt (t.ex. lämna GROT i skogen) eller förbränna massan samt återföra askan. Därefter förutsätter modellen att biomassan genomgår pyrolys. Här uppstår energisystemeffekter, inkluderat pyrolysens biprodukter. Sedan används biokolet antingen som tillsats i foder eller i djupströbäddar, för att slutligen hamna på åkern. Referensscenariot är konventionella ströbäddar, foder utan biokolstillsats och att inget biokol tillförs åkern.



Figur 3. Systemgräns inkl. referensscenario

3 Metod

För att utveckla miljönyttomodellen användes följande metod (fig. 4).



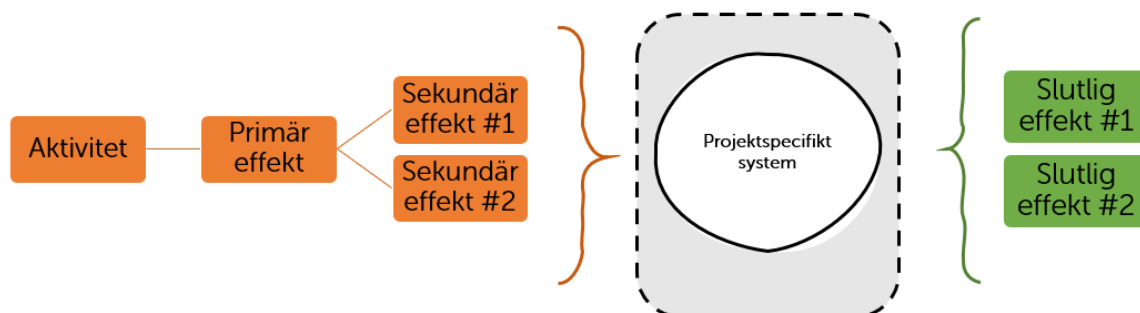
Figur 4. Metodöversikt.

En inledande litteraturstudie gav en bruttolista på systemeffekter som uppstår i de olika faserna av systemet. Huvudsaklig utgångspunkt var akademiska metastudier som samlar resultat från flera andra studier. Den nyligen publicerade artikeln "Assessing the diverse environmental effects of biochar systems: An evaluation framework" av Azzi et al. (2021) var central då den samlar hundratals biokolsstudier och 45 LCA-studier samt presenterar en övergripande metodologi för att kategorisera dessa.

Bruttolistan över samtliga systemeffekter strukturerades sedan upp i primära, sekundära och slutliga effekter. Det är huvudsakligen de slutliga effekterna som kan ge utslag i kolsänksrätterna, medan de primära och sekundära effekterna är uppströms effekter. Där det var möjligt följde uppdelningen den kategorisering som används i Azzi et al. (2021) för att underlätta jämförelse. Se figur 5 nedan.

Eftersom de bio-fysio-kemiska systemen som biokol används i är komplexa kan inte linjära orsaks-verkansamband tillämpas och att dra slutsatser mellan orsak och verkan genom teoretiska modeller är därför svårt. Istället kringgår man detta genom att luta sig på empiriska

studier i fält. Dessa är dock naturligt begränsade till en viss geografisk plats och går inte nödvändigtvis att översätta till ett specifikt projekt någon annanstans. De slutliga effekterna kunde således inte alltid direkt härledas från specifika primära eller sekundära effekter. Däremellan ligger därför en intermediär fas i miljönyttomodellen, som i verkligheten utgörs av empiriska fältförsök och det projektspecifika systemet.



Figur 5. Kategorisering av systemeffekter.

När effekterna kartlagts och kategoriserats genomfördes en analys i syfte att utvärdera effekternas kvantifierbarhet, koppling till klimat och typ av påverkan. Bruttolistan på systemets olika slutliga effekter delades upp i tre kategorier:

- A. effekten kan kvantifieras med platsspecifik data och kan eventuellt inkluderas i kolsänksrätten
- B. effekten kan kvantifieras med generisk data, här ingår även bakomliggande mekanismer som kan kvantifieras men inte dess motsvarande slutliga effekter
- C. effekten kan inte kvantifieras i nuläget och kräver mer kunskap

Denna uppdelning delar struktur med Azzi et al. (2021), där kategorierna benämns Outcome 2 a, b respektive c i figur 4 i artikeln. Till en början kommer de allra flesta effekter att tillhöra kategori B eller C, med förhoppningen att i takt med forskningsframsteg förflytta allt fler till kategori A.

Alla kolinlagrande metoder har både positiva och negativa effekter, och hur systemeffekterna påverkar hela modellen är en viktig parameter. I miljönyttomodellen kategoriserades därför effekterna utifrån typ av påverkan på modellen enligt nedan:

- i. Övervägande positiv
- ii. Systemberoende, potentiellt betydelsefull
- iii. Mindre eller försumbar effekt
- iv. Övervägande negativ

De slutliga effekterna bedömdes även på huruvida de relaterar till klimatpåverkan (JA/NEJ) och därigenom potentiellt påverkar kolsänksrätterna. Dessutom beskrevs effekterna mer i detalj med referens till källor samt en kvantitativ skattning av påverkan där så är möjligt.

Slutligen sammanställdes resultatet i en översikt som visualiserar miljönyttomodellens samlade bild av biokol i lantbruk, enligt tabell 1 nedan.

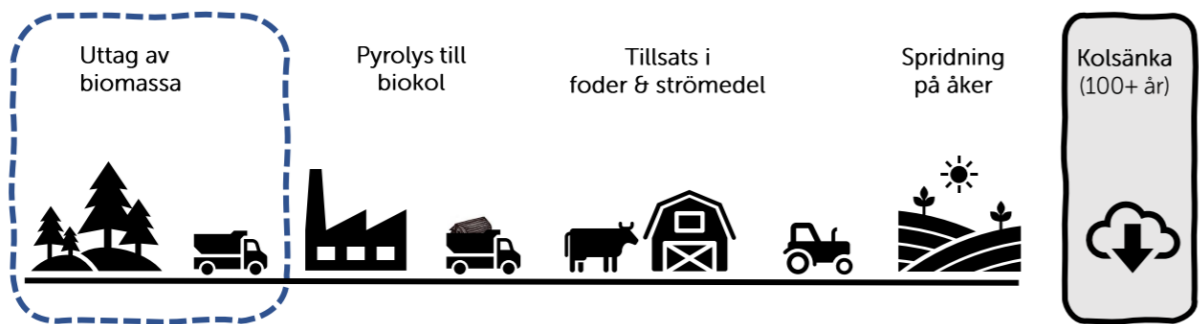
Tabell 1. Metod för sammanställning av analysen.

Kategori	A	B	C
Övervägande positiv			
Systemberoende, potentiellt betydelsefull			
Mindre eller försumbar effekt			
Övervägande negativ			

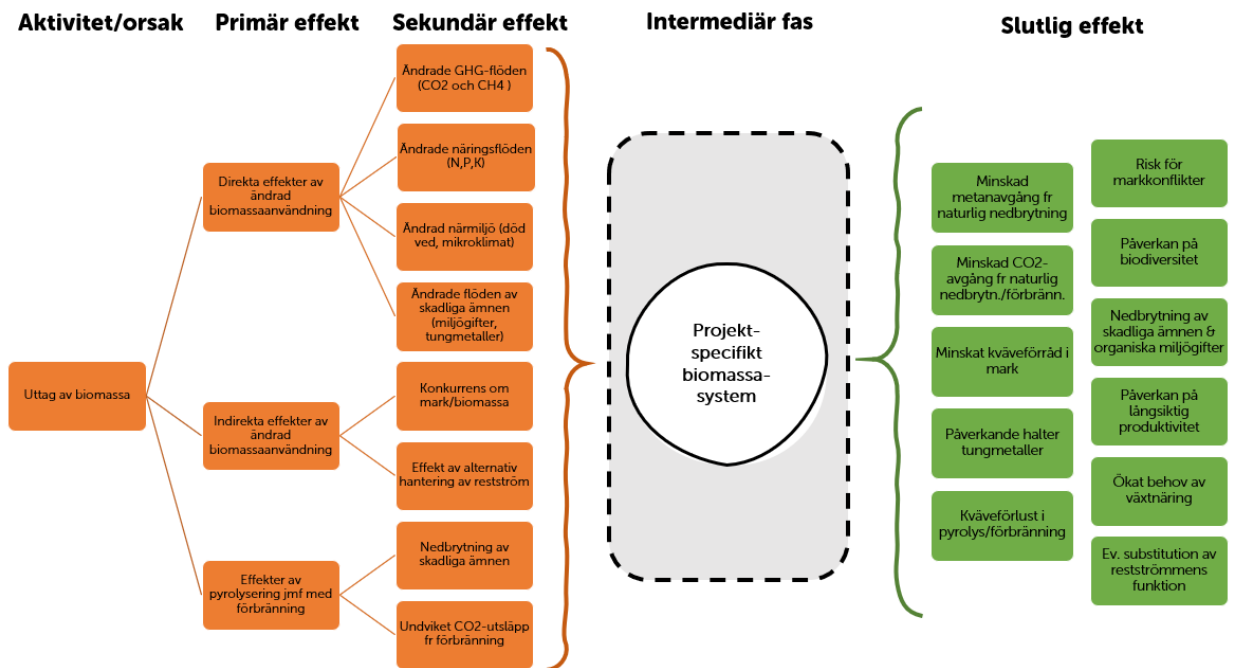
4 Resultat

4.1 Systemeffekter: uttag av biomassa

De systemeffekter som sker i samband med uttaget av biomassa enligt resultatet från denna kartläggning redovisas här.



Figur 6. Illustrerar den del av biokolsprocessen vars systemeffekter redovisas nedan.



Figur 7. Kategorisering av samtliga systemeffekter identifierade i denna studie för uttag av biomassa.

4.1.1 Minskad metanavgång från naturlig nedbrytning

Klimatpåverkan: Ja, undvikna utsläpp

Kategori av kvantifierbarhet: B

Påverkan: Övervägande positiv

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Undvikna utsläpp från koldioxid och metan från biomassa som annars brutits ned naturligt (Nair et al., 2017).

4.1.2 Minskad kväveförråd i mark

Klimatpåverkan: Ja, om tillväxten försämras eller behovet av handelsgödsel ökar

Kategori av kvantifierbarhet: B

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Uttag av biomassa påverkar förrådet av makro- och mikronäringsämnen i marken, vilket leder till minskade förråd av dessa. I norra och mellersta Sverige medför t.ex. uttag av GROT en nettoförlust av kväve (N) från bestånden. Resultatet från fältundersökningar visar att underskottet ligger på i genomsnitt 1,3–1,4 kg N per hektar och år. Sett till en omloppstid på 100 år uppgår detta till 130–140 kg N/ha. Denna förlust kan dock minimeras genom hållbart uttag av GROT (Skogsstyrelsen, 2019a; Skogsstyrelsen, 2019b).

4.1.3 Påverkan halter av tungmetaller

Klimatpåverkan: Nej

Kategori av kvantifierbarhet: C

Påverkan: Övervägande positiv

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: En effektiv avskiljning av kadmium och andra tungmetaller är en förutsättning för att kunna återföra fosfor och andra näringsämnen i organiska restprodukter till jordbruksmark, gröna lösningar i städer och trädgårdsjordar. Om pyrolysen sker vid tillräckligt hög temperatur (>700°C) förångas

kadmiumföreningar i stor utsträckning. Dessa kan därmed avskiljas från biokolet som då renas från kadmium. Även kvicksilver förångas, och i viss mån även bly och zink, medan koppar, krom och nickel inte avskiljs (om inte temperaturen är extremt hög) (Fransson et al., 2020).

De tungmetaller som inte förångas kan istället bindas av biokolet och därmed minska risken för att på kort sikt vandra vidare i ekosystemet. Vilka mekanismer som styr bindningen av tungmetaller till biokol är inte helt klarlagt men i princip är det samma mekanismer som styr löslighetsregleringen i en vanlig jord. Eftersom biokol innehåller många funktionella grupper innebär tillförsel av biokol att antalet funktionella grupper i substratet ökar. Detta tillsammans med den pH-ökning som ofta sker då biokol tillsätts till ett substrat (se ”Minskat behov av kalk”) minskar i teorin metallers löslighet (Fransson et al., 2020).

4.1.4 Kväveförlust i pyrolys/förbränning

Klimatpåverkan: Ja, om förlusten av kväve måste ersättas med handelsgödsel

Kategori av kvantifierbarhet: A

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Kväve avgår i pyrolysisprocessen i form av ammoniak (NH_3) och vätecyanid (HCN), vilket leder till utsläpp av NOx-gaser. Avgången ökar med temperaturen, sålunda kan pyrolysisprocessen optimeras så att nästintill inget NOx avgår till atmosfären. I en effektiv process bildas det nästintill inget NOx, däremot förloras kväve i de andra formerna från materialet (Schmidt et al., 2019a).

4.1.5 Risk för markkonflikter

Klimatpåverkan: Nej

Kategori av kvantifierbarhet: C

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Förändrad markanvändning pga. efterfrågan på biokol kan konkurrera med mark för livsmedelsproduktion. Om kolsänksrätterna blir så pass efterfrågade att det är bättre ekonomi i att maximera kolinlagringen än att producera livsmedel eller timmer/fibrer påverkar det tillgången på råvaror i livsmedelssystemet. I de allra flesta fall tillverkas dock biokol ur restströmmar, varför denna risk bedöms vara liten (European Biochar Certificate, 2013). Dessutom förloras kolsänkspotentialen om råvaran inte är en restström enligt tidigare beskrivning i Metod för beräkningar av klimatavtryck av biokol för kolsänksrätter.

4.1.6 Påverkan på biodiversitet

Klimatpåverkan: Nej

Kategori av kvantifierbarhet: C

Påverkan: Systemberoende, potentiellt betydelsefull

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: I de fall biomassan kommer från skogen behöver uttaget göras med hänsyn tagen till den lokala miljön. Då ett stort antal organismer och många arter är beroende av någon form av död ved har uttag av GROT en negativ påverkan på den biologiska mångfalden. Uttag medför förlust av substrat samt även förändrad miljö på hygget på grund av mer solexponering, minskad strukturell variation och mindre skydd. Beroende på vilken typ av skog uttaget görs i kan det göras till en viss grad utan någon större påverkan på långsiktig överlevnad. Exempelvis bör uttag av GROT från tall och lövträd begränsas mer än från gran (Skogsstyrelsen, 2019a; Skogsstyrelsen, 2019b).

4.1.7 Nedbrytning av skadliga ämnen och organiska miljögifter

Klimatpåverkan: Nej

Kategori av kvantifierbarhet: B – halterna av skadliga ämnen kan mätas men det behövs mer forskning kring samspelet med jorden

Påverkan: Övervägande positiv

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Eftersom pyrolys sker vid minst 350°C, och ofta vid ännu högre temperaturer, destrueras de smittämnen (såsom bakterier och virus) som det organiska materialet ursprungligen kan ha innehållit. Även vissa oönskade ämnen, som till exempel läkemedelsrester, hormoner och hushållskemikalier bryts ned vid de höga temperaturer som råder under pyrolysen. I de allra flesta fall där pyrolys sker vid höga temperaturer är biokolet därför renare än de material som det har producerats av (Fransson et al., 2020).

Även organiska föroreningar som cancerogena polycykliska aromatiska kolväten (PAH) påverkas av pyrolysering. PAH:er bildas vid ofullständig förbränning, det vill säga när kol eller kolväten upphettas utan tillräcklig tillgång till syre såsom vid pyrolys. Hur mycket PAH:er som bildas vid produktionen av biokol beror på de förhållanden som råder (Enell et al., 2019). Vid låga pyrolystemperaturer finns risk att en liten tjärfraktion blir kvar i biokolet och att PAH:er därmed kan bildas. Vid högre pyrolystemperaturer avgår dock i princip all tjära i gasform, och därmed även eventuella PAH:er (förutsatt att föreningarna transporteras bort och förbränns). Förutom temperaturen har även uppehållstiden i pyrolyprocessen betydelse. Ju längre uppehållstid, desto mindre risk för att PAH:er finns kvar i biokolet (även vid lägre pyrolystemperaturer). Studier har visat att risken för PAH:er och dioxiner är högre vid snabb pyrolys (några sekunder) än vid långsam pyrolys (>15 min) och vid cirka 500°C jämfört med

cirka 800°C. Moderna pyrolysmetoder (hög temperatur, lång uppehållstid och bortförsl av förgasade föreningar) möjliggör därför produktion av biokol med mycket låga halter (Enell et al., 2019).

Samtidigt som risken för PAH-förekomst i biokol behöver beaktas bör å andra sidan också nämnas att biokol binder PAH:er effektivt och att det därför används för att immobilisera PAH:er i förorenade jordar (Enell et al., 2019). Risken för att tillförsel av biokol till jordar skulle medföra en kontaminering av jorden måste därför anses vara låg, tvärtom ger biokol en övervägande positiv effekt på halterna och rörligheten för PAH i jord (Enell et al., 2019).

4.1.8 Påverkan på långsiktig produktivitet + Ökat behov av växtnäring

Klimatpåverkan: Ja, då produktion av handelsgödsel har stor klimatpåverkan

Kategori av kvantifierbarhet: B

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Uttag av GROT i förnygringsavverkning medför tillväxtnedläggningar i nästa skogsgeneration för gran, men inte för tall. Vid gallring medför uttag av GROT tillväxtnedläggningar både för gran och tall. Denna tillväxtnedläggning beror mest troligt på minskad tillgång till tillgängligt kväve (Skogsstyrelsen, 2019a; Skogsstyrelsen, 2019b).

Det finns eventuellt ett ökat behov att tillföra handelsgödsel till biomassasystemet på grund av förluster genom uttaget. Uttag av biomassa inklusive GROT påverkar förrådet av utbytbara baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) samt även fosfor i mark, då det innebär en nettominusning. Exempelvis medför uttag av stamved och GROT i granskog en nettominusning av förrådet av utbytbara baskatjoner med i genomsnitt 2–4 % (Skogsstyrelsen, 2019a; Skogsstyrelsen, 2019b).

4.1.9 Ev. substitution av restströmmens funktion

Klimatpåverkan: Ja, då risken finns att mindre hållbart alternativ måste väljas som ersättning.

Kategori av kvantifierbarhet: A, då dessa materialströmmar kan kvantifieras via inköp eller egen produktion.

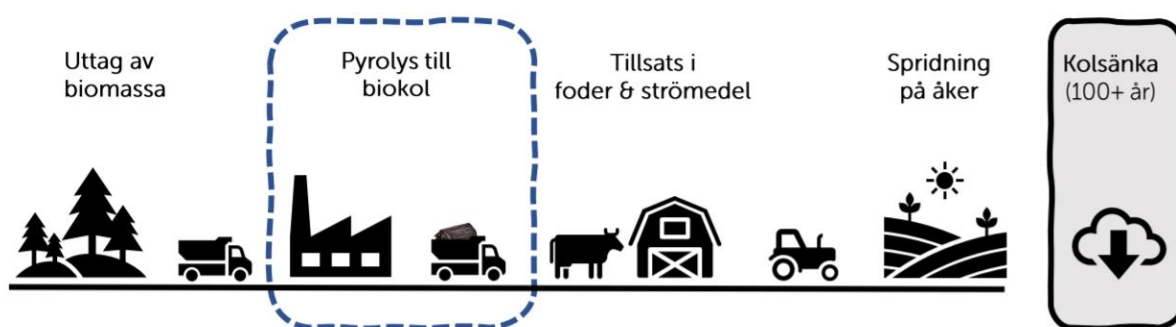
Påverkan: Systemberoende, potentiellt betydelsefull.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Restströmmar av biomassa som halm, skalrester och GROT fyller idag en funktion. När dessa biomassaströmmar

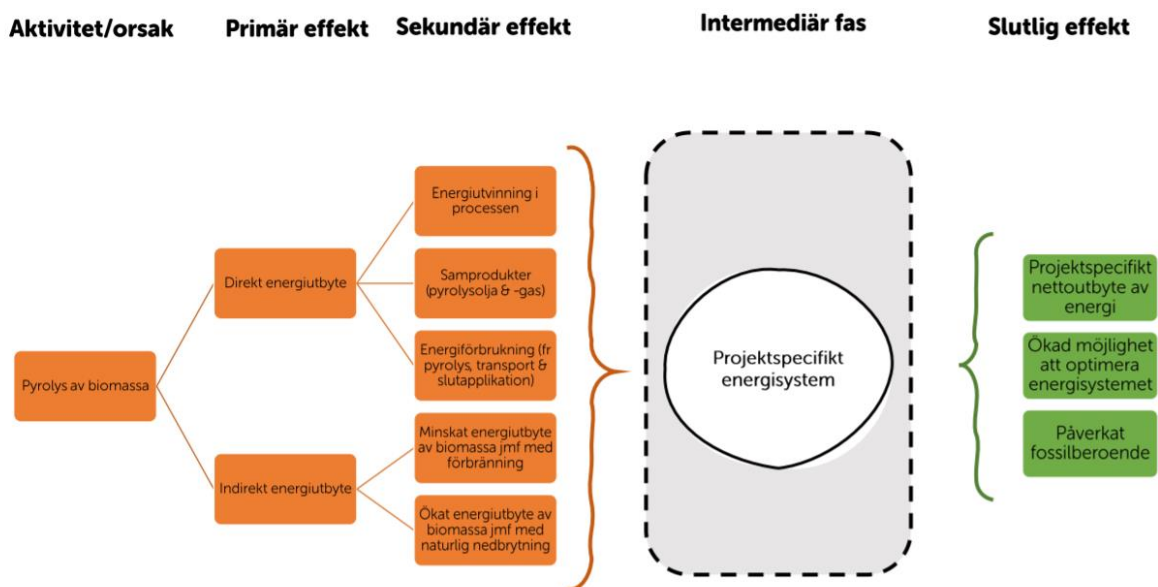
går till biokolsproduktion behöver de ersättas med annat, vilket innebär en substitutionseffekt som behöver beaktas i systemets totala nytta.

4.2 Systemeffekter: energisystem

De systemeffekter som sker i samband med pyrolys av biomassa till biokol enligt resultatet från denna kartläggning redovisas här.



Figur 8. Illustrerar den del av biokolsprocessen vars systemeffekter redovisas nedan.



Figur 9. Kategorisering av samtliga systemeffekter identifierade i denna studie för pyrolys av biomassa.

4.2.1 Projektspecifikt nettoutbyte av energi

Klimatpåverkan: Ja, om ett ökat behov av fossil energi uppstår i eller utanför systemet på grund av minskad energiutvinning i biomassa.

Kategori av kvantifierbarhet: A, (i ett definierat system).

Påverkan: Systemberoende, potentiellt betydelsefull.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: I pyrolysisprocessen, jämfört med förbränningen, fås en mindre andel energi ut av den ingående biomassan eftersom en del av energin är bundet i biokolets kolföreningar. Enligt en studie ger pyrolysen 38 % mindre energiutbyte (Papageorgiou et al., 2021) så en viktig fråga är således vad biomassans alternativa användning är. Där pyrolysen är en integrerad del av ett energikonsumerande system och en viss mängd energi behövs kommer en större mängd biomassa krävas för att tillgodose detta behov. Om energin ut ur systemet är en styrande faktor för produktionen kommer detta att verka begränsande. I motsats till detta är ett system där energin finns i överflöd inte lika påverkat av detta. Exempel på det kan vara ett värmeverk där restavfall förbränns, under en varm sommar minskar värmebehovet men avfallet måste fortfarande hanteras. Nettoutbytet av energi kan vara stort om biomassa som idag inte används för energi pyrolyseras, exempel på detta är material som annars komposteras eller på annat sätt får brytas ner naturligt och ingen energiuppsamling sker. Därtill bör det beaktas hur stor del av energin som nyttiggörs i ett system, och mängden spillvärme som inte tillvaratas bör minimeras.

Den slutliga effekten på energiutbytet i systemet kan vara positivt eller negativt och om detta ger en klimateffekt beror på alternativet till pyrolysen.

4.2.2 Påverkat fossilberoende

Klimatpåverkan: Ja, om ett förändrat behov av fossil energi uppstår i eller utanför systemet.

Kategori av kvantifierbarhet: A, (i ett definierat system).

Påverkan: Systemberoende, potentiellt betydelsefull.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Påverkan på det fossila beroendet är dels kopplat till en minskad mängd tillgänglig energi från biomassa, dels till hur processen substituerar ett fossilt användande utan att öka beroendet någon annanstans utanför systemet.

En svensk fallstudie på regional nivå visar att klimatprestandan för ett fjärrvärmesystem med pyrolysis främst beror på hur koldioxidmarginalelen är (Azzi et al., 2019). Med en fossilfri elproduktion är pyrolysis ett fördelaktigt alternativ medan det vid koldioxidintensiv elmix är fördelaktigt ur ett klimatperspektiv att utvinna en större del av bioenergin som finns tillgänglig i biomassan. På gårdsnivå kan motsvarande resonemang användas. Effekten kan bli positiv om

det fossila beroendet eller elbehovet på gården minskar, eller negativ om en större mängd biomassa behöver användas i en redan biobaserad lösning och biomassan kunde ersatt ett fossilt användande på annan plats. Den viktiga frågan för att bedöma effekten på gårdsnivå är således att ha kunskap om vad alternativet till pyrolysen är.

Den slutliga effekten på energiutbytet i systemet kan vara positivt eller negativt och om detta ger en klimateffekt beror på alternativet till pyrolysen.

4.2.3 Ökad möjlighet att optimera energisystemet

Klimatpåverkan: Ja, om produkterna ifrån pyrolysen kan minska behovet av fossila bränslen.

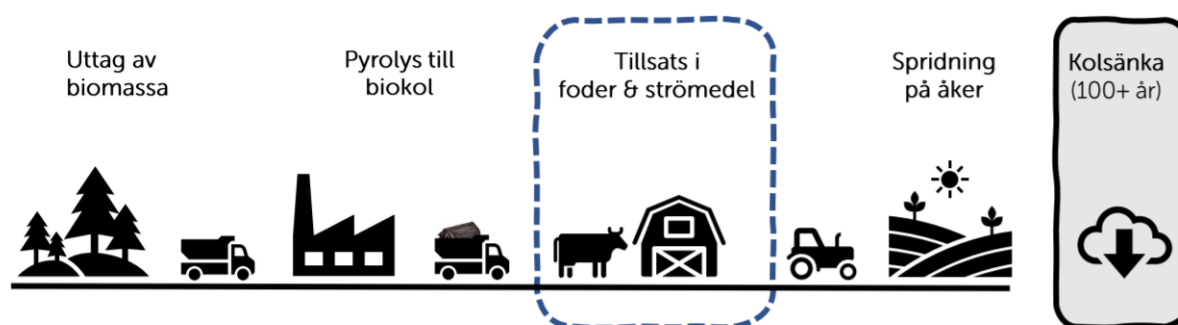
Kategori av kvantifierbarhet: A, (i ett definierat system).

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt.

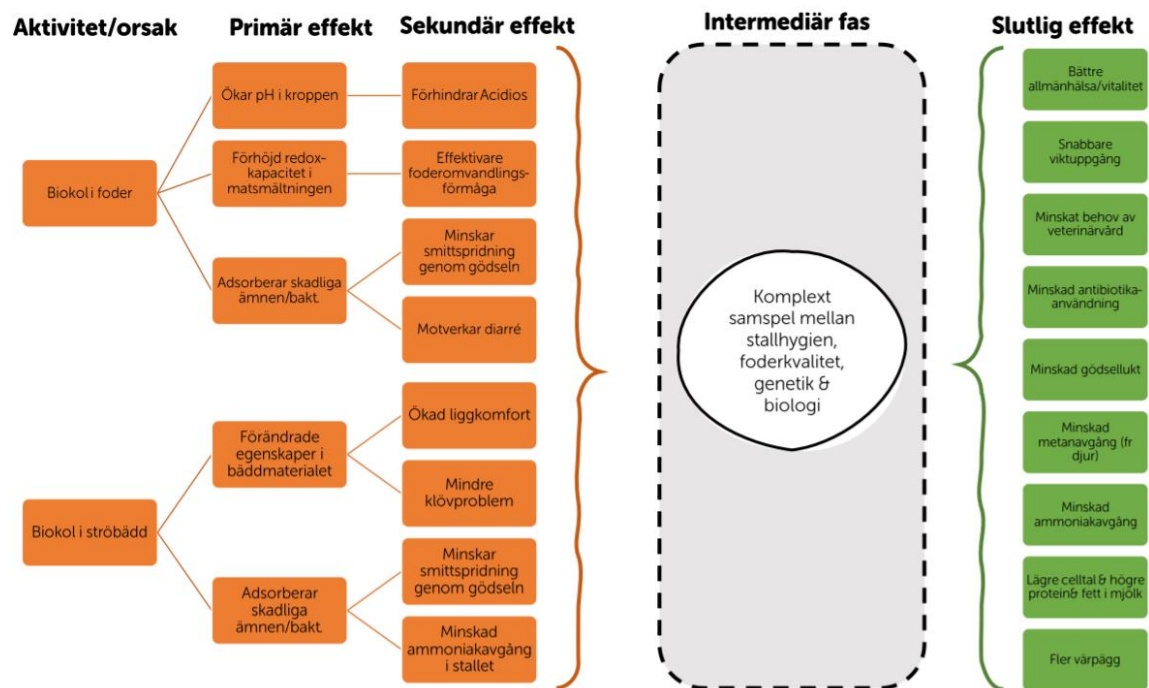
Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Pyrolysisprocessen ger flera produkter utöver biokol. Den vanligast omtalade produkten är värme som kan tas till vara men det är även möjligt att utvinna elektricitet, pyrolysolja och pyrolysgas i processen (Avfall Sverige, 2018). Särskilt intressant är oljan och gasen som är energirika produkter, dessa kan potentiellt ersätta fossila bränslen vid tillfälliga ökade behov och jämna ut vid konsumtionstoppar så att mängden fossilt bränsle minimeras. För att verkligen användas optimalt måste oljan eller gasen kunna sparas till rätt tillfälle och på grund av sin sammansättning finns det utmaningar med lagring; tekniken är dock under utveckling.

4.3 Systemeffekter: biokol i foder eller strömedel

De systemeffekter som sker i samband med att biokol används som tillsats i foder eller strömedel enligt resultatet från denna kartläggning redovisas här.



Figur 10. Illustrerar den del av biokolsprocessen vars systemeffekter redovisas nedan.



Figur 11. Kategorisering av samtliga systemeffekter identifierade i denna studie för biokol i foder eller ströbädd.

4.3.1 Bättre allmänhälsa + Minskat behov av veterinärvård

Klimatpåverkan: Nej

Kategori av kvantifierbarhet: C, allmänhälsan beror på så många olika faktorer att kvantifiering av just biokolets bidrag är mycket svårt

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Tillsats av biokol i fodret har visat sig ha en allmänt positiv effekt på djurens vitalitet och hälsa. I kombination med övriga positiva effekter av biokol i foder är en naturlig följd att veterinärbehovet minskar (Hagemann et al., 2018).

4.3.2 Minskad gödsellukt

Klimatpåverkan: Nej.

Kategori av kvantifierbarhet: C, oklar kvantifierbar effekt.

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Bland annat Hagemann et al. (2018) rapporterar minskad lukt från gödsellagring när biokol tillsatts.

4.3.3 Minskad metanavgång

Klimatpåverkan: Ja, metan är en kraftig växthusgas och idisslare bidrar starkt till de globala utsläppen av metan.

Kategori av kvantifierbarhet: B, återstår fältförsök under svenska förhållanden (SLU, 2021).

Påverkan: Övervägande positiv.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Metangasutsläpp från idisslare kan minska om biokol är ett tillskott i fodret (Kammann et al., 2017). Enligt metastudien av samma referens har det uppmätts en metanreduktion om 12,5 till 20 % vid en inblandning av biokol med mellan 0,5 och 0,6 % i djurfodret, medan en annan studie blandade in en högre mängd biokol in i djurfodret utan påvisad metanreduktion (Kammann et al., 2017).

4.3.4 Snabbare viktuppgång + Fler värpäggs

Klimatpåverkan: Ja, då en kortare tid till slakt/ fler ägg minskar utsläppsintensiteten per kilo produkt

Kategori av kvantifierbarhet: B – återstår fältförsök under svenska förhållanden

Påverkan: Övervägande positiv

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Användningen av biokol i djurfoder kan leda till en viktökning om 10 till 25 % hos kycklingar, fiskar, grisar, getter och nötkreatur, samt leda till fler värpäggs (Hung Wong et al., 2020). En möjlig förklaring till produktionsökningen är att kroppens pH ökar, vilket förhindrar acidios (Hung Wong et al., 2020). En studie genomförd i Storbritannien visar att ett visst dagligt intag av biokol minskade just acidios och även lukten från gödsel redan efter en till två dagar, vilket även studien ovan i avsnittet "Minskad gödsellukt" visade. Men det finns även studier som inte visar på någon signifikant viktuppgång (Hung Wong et al., 2020).

4.3.5 Minskad antibiotikaanvändning

Klimatpåverkan: Nej.

Kategori av kvantifierbarhet: A, antibiotikaanvändningen mäts noga på varje gård.

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Antibiotikaanvändningen har visats minska vid tillsats av biokol i fodret i ett antal studier. I en svensk kontext är dock antibiotikaanvändningen redan låg och det arbetas intensivt med rena foder och bra hygien i stallarna för att ytterligare minska behovet av antibiotikaanvändning (Avfall Sverige, 2018).

4.3.6 Lägre celltal & högre proteinhalt i mjölk

Klimatpåverkan: Nej.

Kategori av kvantifierbarhet: A, somatiskt celltal, protein och fett mäts vid varje mjölkhämtning.

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: När mjölkkor får foder med biokol har det rapporterats att det somatiska celltalet, vilket är ett mått på mängden skadliga bakterier i mjölken, sjunker drastiskt (Schmidt et al., 2019b). Dessutom ökade både mjölkens protein- och fetthalt (Schmidt et al., 2019b).

4.3.7 Minskad ammoniakavgång i ströbädd

Klimatpåverkan: Ja, kväveavgång till atmosfären bidrar till växthuseffekten samt att kvävet behöver ersättas med handelsgödsel.

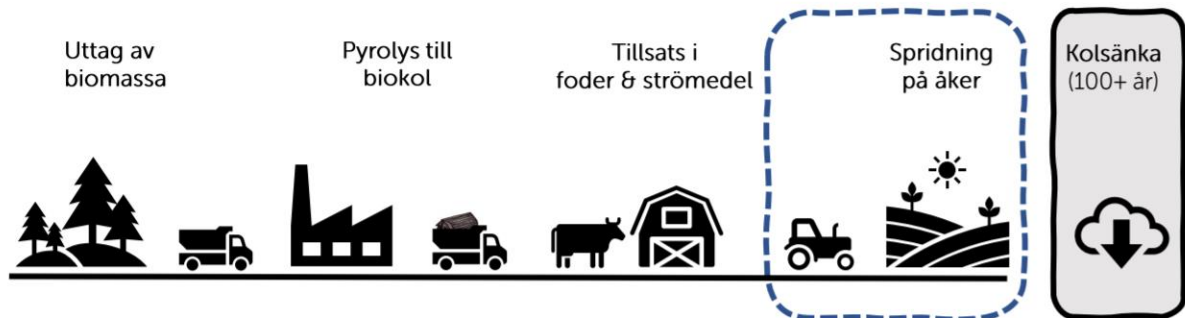
Kategori av kvantifierbarhet: B, dock pågående försök i Sverige (Hushållningssällskapet Sjuhärad (2021), SLU, med flera).

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

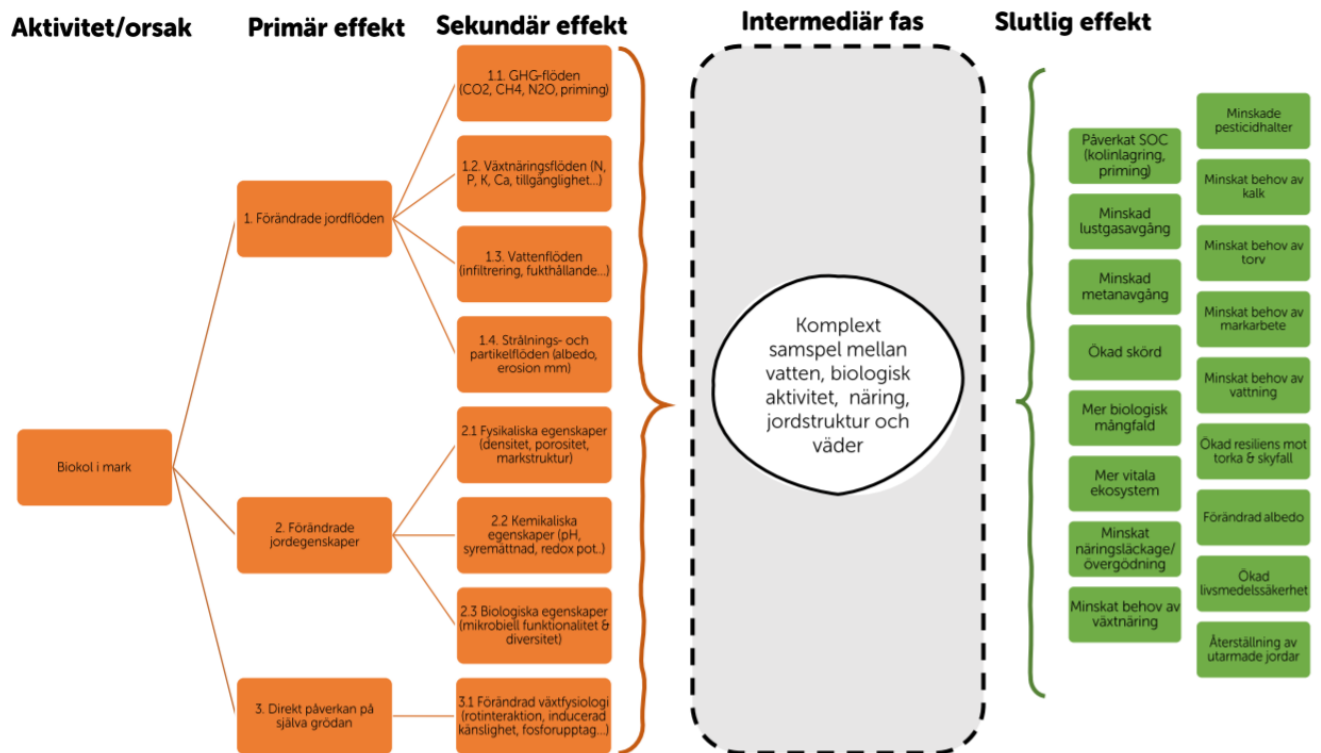
Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokol som tillsätts i ströbäddar verkar ha en effekt på ammoniakavgången redan vid tillsättning av 2,5 % biokol av gödselmängden i bädden enligt en studie gjord av Jansson (2019)). Studien visade dock också att högre koncentration biokol gav försumbar effekt, samt att biokolet inte verkar påverka djurens liggtid eller renhet (Jansson, 2019; Kammann et al., 2017).

4.4 Systemeffekter: biokol i mark

De systemeffekter som sker i samband med att biokol används i åkerjord enligt resultatet från denna kartläggning redovisas här.



Figur 12. Illustrerar den del av biokolsprocessen vars systemeffekter redovisas nedan.



Figur 13. Kategorisering av samtliga systemeffekter identifierade i denna studie för biokol i mark.

4.4.1 Minskat behov av bevattning + Ökad resiliens mot torka & skyfall

Klimatpåverkan: Ja, genom att öka systemets motståndskraft mot torka minskas frekvensen av torkstressade system med sämre eller utebliven tillväxt. På så sätt bibehålls kolinbindningen och den avgång av växthusgaser som barmark kan innebära undviks.

Kategori av kvantifierbarhet: C, dock är biokolets vattenhållande förmåga kvantifierbart.
Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokol kan hålla upp till fyra gånger sin egen vikt i vatten och i teorin fungerar biokolet som en buffert för bland annat vatten i jorden (Lehmann & Joseph, 2009). I svensk kontext har denna förmåga att öka resiliensen mot torka historiskt inte varit utmärkande men det kommer förmodligen förändras i takt med ett förändrat klimat. Under torkan 2018 har system med biokol enligt observationer behållit sin produktion och en studie som genomförts av RISE (Råberg & Myrbeck, 2021a) visar att jordblandningar med innehåll av biokol har signifikant bättre vattenhållande förmåga än jordblandningar med exempelvis torrifierad GROT.

Biokolets vattenhållande effekt kan även användas för att jämna ut effekterna av skyfall och möjliggöra att en större andel av vattnet kan tillvaratas (Schmidt et al., 2019a).

4.4.2 Förändrad albedo

Klimatpåverkan: Ja, om biokolet förändrar albedoeffekten och bidrar till att markytan blir mörkare och reflekterar mindre av solinstrålningen kommer det att minska den totala klimateffekten som biokolet medför.

Kategori av kvantifierbarhet: C.

Påverkan: Övervägande negativ effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Spridningen av biokol på jordbruksmark kan förändra albedot, det vill säga ytans förmåga att reflektera solinstrålningen. Med en mörkare yta kan den klimateffekt som kolinlagringen medför påverkas negativt, det samma gäller exempelvis när skog anläggs som klimatåtgärd (Höglund, 2020). Hur mycket är inte fastställt (Meyer et al., 2012) men det är främst då biokolet sprids över ytan som effekten uppstår; om biokolet plöjs ner förändras albedot inte nämnvärt.

4.4.3 Ökad skörd

Klimatpåverkan: Ja, ökar skörden är det ett ökat koldioxidupptag från atmosfären till följd av biokolsanvändningen samt lägre utsläppsintensitet per skördat kilo.

Kategori av kvantifierbarhet: B.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Det är svårt att påvisa att skördeökningar direkt härstammar från tillsatsen av biokol. Det beror på de komplexa sambanden i naturliga system och att effekten varierar med lokala variationer av klimat och geologiska förutsättningar. Men det är troligt att ett ökat upptag av koldioxid kommer att ske på grund av ökad bördighet och förbättrad jordhälsa, vilket även ökar den naturliga mullbildningen i jorden (Lehmann et al., 2006; Wang et al., 2016). I svenska förhållanden finns det ingen vetenskapligt dokumenterad effekt men internationella studier har uppmätt en fördubblad skörd under ett försök i Kenya (Gitau et al., 2019) samt en trefaldig ökning på sandiga jordar (Kammann et al., 2015). I en svensk kontext kan bristen på data som påvisar skillnader i skörd både bero på våra befintliga odlingsmarkers relativt goda förutsättningar gällande markkol och (hittills) pålitlig tillförsel av vatten och näring till odlingsystemen.

4.4.4 Minskad lustgasavgång

Klimatpåverkan: Ja – klimatvärdet ökar om en minskad mängd lustgas avgår ifrån marken.

Kategori av kvantifierbarhet: B

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokolets möjliga påverkan på lustgasavgången är potentiellt en mycket viktig positiv effekt. Lustgasen estimeras utgöra 8 % av de globala utsläppen av växthusgaser (Shackley et al., 2016) och är en av de svåraste utmaningarna för jordbrukets omställning där det behövs hittas nya tekniker (Lantmännen, 2019). Biokolet kan påverka lustgasavgången både positivt och negativt, detta beror på en mängd olika interagerande processer och både positiv och negativ effekt kan samexistera, dock är effekten totalt sett övervägande positiv (Shackley et al., 2016). Särskilt effektiv har biokolet visat sig vara för att förhindra den stora lustgasavgången som sker i samband med gödning med urea och nitrater (ca 50–80 %), medan man vid användning av ammoniumpreparat inte kunde uppmäta någon positiv effekt (Shackley et al., 2016). Detta tyder på att ett välplanerat tillskott av biokol kan vara mycket betydelsefullt för växtodlingens klimatpåverkan.

4.4.5 Minskad metanavgång

Klimatpåverkan: Ja, klimatvärdet ökar om en minskad mängd metangas avgår ifrån marken.

Kategori av kvantifierbarhet: C.

Påverkan: Systemberoende, potentiellt betydelsefull.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokolet kan ha en påverkan på metanavgången ifrån marken, detta beror på olika processer som exempelvis förändrar struktur och fysiska egenskaper i jorden som kan öka syresättningen, men även

inducera biologiska processer som interagerar med metanbildningen. Både positiv och negativ effekt förekommer och det är svårt att förutsäga på generell nivå vad som kommer att dominera (Lehmann & Joseph, 2015).

4.4.6 Minskat behov av växtnäring + Minskat näringsläckage

Klimatpåverkan: Ja, klimatvärdet ökar om en mer resurseffektiv näringshantering kan åstadkommas.

Kategori av kvantifierbarhet: B.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Själva biokolet har ofta ett modest näringsvärde, men dess förmåga att buffra näringsämnen kan ha en utjämnande effekt och minska gödningsbehovet eftersom den mängd man tillför i större utsträckning stannar i jorden (Shackley et al., 2016).

Genom sin egenskap att adsorbera och buffra näringsämnen kan biokolet medföra att en mindre mängd näringsämnen finns i överskott och därmed läcker till omgivande system. Detta påverkar klimatet genom att minska avgången av lustgas som sker sekundärt vid ett överskott av kväve kombinerat med en syrefattig miljö, samt att en mindre total mängd näring behöver tillföras systemet, vilket innebär att en mindre mängd näringsämnen (framförallt kväve) behöver tillverkas i industriella koldioxidintensiva processer.

En mer resurseffektiv näringshantering är även gynnsamt då man minskar miljöpåverkan av näringsläckage ifrån jordbruksmarker som med övergödning i omkringliggande marina och landbaserade system stör ekosystemen. Därtill är en restriktiv hantering av näringsämnen en fråga om att vårda ändliga resurser (framförallt fosfor) som är avgörande för vår framtida möjlighet att producera mat.

Förmågan att adsorbera näringsämnen har samband med biokolets specifika yta, och generellt kan sägas att ju större ytan är desto större effekt, vilket även gäller för den ökade aktiviteten av mikroliv och andra kemiska och biologiska effekter (Shackley et al., 2016).

4.4.7 Minskat behov av kalk

Klimatpåverkan: Ja, både produktion och spridning av kalk medför klimatpåverkan

Kategori av kvantifierbarhet: B, inköp och spridning av kalk följs upp på gårdsnivå men kopplingen till biokol är inte utforskad.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokol har ett neutralt till högt pH (7–11) (Avfall Sverige, 2018). Det innebär att tillförsel av biokol oftast ger en kalkande effekt. Olika typer av biokol kan ha varierande kalkningseffekt beroende på både ursprungsmaterialets sammansättning och pyrolysisprocessens utformning. Generellt ger en hög askhalt i ursprungsmaterialet ett lägre utbyte av biokol men ett biokol med högre kalkeffekt och vice versa. Ved och andra stödjande strukturer som halm innehåller mycket kol och lite näring. Det betyder i princip att ju mer stödjande vävnad som finns i ett material desto mindre kalkeffekt får man av biokolet som har producerats. Frön, bark och gröna växtdelar innehåller däremot mer näring och mindre kol, och biokol producerat av dessa delar ger därför generellt en större kalkeffekt (Fransson et al., 2020).

Utöver biokolets höga pH bidrar biokol till en ökad kapacitet för utbyte av katjoner. Detta stärker jordens förmåga att buffra förändringar i marklösningens vätejonskoncentration och därigenom ökar buffertförmågan gällande jordens pH. I ett indonesiskt fältförsök från 2016 tillsattes biokol från risskal i sojaodlingar, med resultatet att både pH och katjonutbytet ökade och en positiv effekt på tillväxten uppmättes (Klau Berek & Hue, 2016).

4.4.8 Minskat behov av torv

Klimatpåverkan: Ja, klimatvärdet ökar om torv kan ersättas.

Kategori av kvantifierbarhet: A, inköp av torv går att kvantifiera på gårdsnivå.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: I de fall lantbruksverksamheten brukar torv, till exempel som odlingsmedium, kan biokol ersätta denna med gott resultat (Jindo et al., 2020). I ett svenskt försök från 2021 ersattes 10 % av torven i grönsaksodling med biokol från GROT med goda resultat (Råberg & Myrbeck, 2021b). Även torv i strömedel till liggbås kan delvis ersättas av biokol, se mer om detta i avsnittet 4.3 om biokol i foder och strömedel ovan.

4.4.9 Minskat behov av markarbete

Klimatpåverkan: Ja, allt markarbete kräver drivmedel.

Kategori av kvantifierbarhet: C, kopplingen mellan biokolet och minskat arbete och drivmedel återstår att kvantifiera.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokolets egenskaper kan förbättra markstrukturen så att lantbruksmaskiner inte behöver bearbeta jorden lika mycket (Sykes et al., 2019). På grund av den ökade porositeten i jord som tillförs biokol kan jorden hålla

mer vatten (se ”Minskat behov av vattning + Ökad resiliens mot torka & skyfall” ovan). En följd effekt av detta blir att marken som brukas inte behöver lika stora arbetsinsatser för dränering, vilket i sin tur minskar drivmedelsförbrukningen.

4.4.10 Mer biologisk mångfald + Mer vitala ekosystem

Klimatpåverkan: Ja, ett hälsosamt och livskraftigt system, rikt på biologisk mångfald, är produktivt och bidrar till att binda in koldioxid i större utsträckning än degraderade system. Därtill är artrika ekosystem mer resilienta mot ett förändrat klimat.

Kategori av kvantifierbarhet: C.

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokol kan bidra med ökad biologisk mångfald i marken genom att agera livsutrymme för många olika organismer och skapa förutsättningar för olika processer. Därtill kan mer hälsosamma ekosystem rymma fler arter även ovan jord. Forskning har visat att både mikrobiell aktivitet och tillväxten av mykorrhiza ökade efter tillsats av biokol (Ding et al., 2017; Nair, 2017).

4.4.11 Ökad livsmedelssäkerhet

Klimatpåverkan: Nej.

Kategori av kvantifierbarhet: C, oklar kvantifierbar faktor.

Påverkan: Mindre eller försumbar effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Biokolets jordförbättrande egenskaper samt dess förmåga att i allmänhet öka vitaliteten i ekosystemen och resiliensen mot torka och skyfall gör att en naturlig följd effekt blir jämnare skördar och därigenom ökad livsmedelssäkerhet. Denna fördel lyfts bland annat av Tisserant och Cherubini (2019).

4.4.12 Minskade pesticidhalter

Klimatpåverkan: Nej.

Kategori av kvantifierbarhet: B.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: När biokol tillsätts jorden påskyndas nedbrytningen av pesticider, vilket ger en friskare och mer produktiv jord. Studier visar att till exempel carbaryl bryts ned till 90 % (Ding et al., 2017).

4.4.13 Återställning av utarmade jordar

Klimatpåverkan: Ja, då återskapandet av livskraftiga ekosystem binder in mer kol.

Kategori av kvantifierbarhet: C.

Påverkan: Övervägande positiv effekt.

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: När biokol appliceras på utarmade jordar sker en allmän återställning av jordens kvalitet och vitalitet (Ippolito et al., 2012). Eftersom Sverige har en väldigt liten andel utarmade jordar bedöms denna effekt vara liten.

4.4.14 Påverkan Soil Organic Carbon (SOC) genom priming

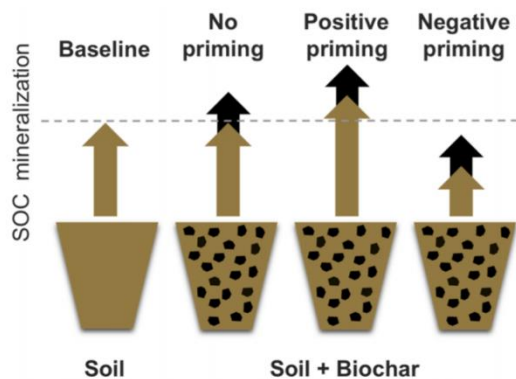
Klimatpåverkan: Ja.

Kategori av kvantifierbarhet: B.

Påverkan: Övervägande positiv effekt

Beskrivning av effekten och kort om vetenskaplig bakgrund: Tillskottet av biokol kan påverka den naturliga nedbrytningen av kol i marken (soil organic carbon, SOC). Denna biokolsinducerade effekt kallas priming och förekommer både i positiv och i negativ form och kan samexistera inom samma system. Vid negativ priming avgår mindre mängd markkol jämfört med utgångsläget och bidrar därmed till en positiv klimateffekt, medan positiv priming har omvänd effekt. Men mekanismerna bakom sambanden är inte klarlagda (Wang et al., 2016). Det är en utmaning när mängden koldioxid som avgår ifrån ett system med tillsatt biokol ska mätas, eftersom det kan vara svårt att urskilja ursprunget på den emitterade koldioxiden (Cross and Sohi, 2011).

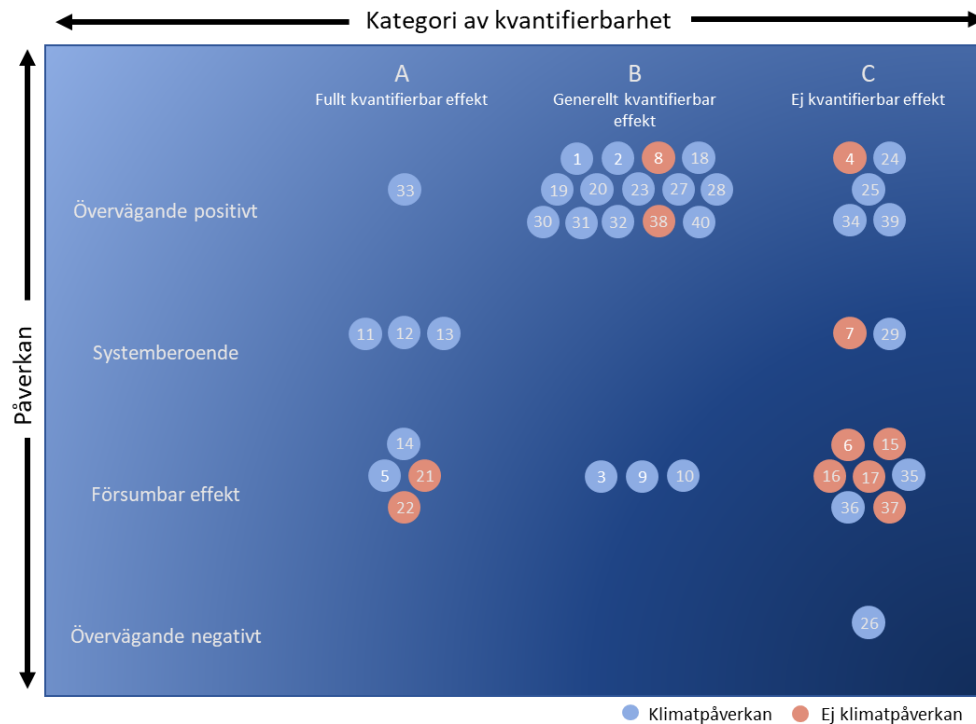
Det finns stöd för att biokol oftare bidrar till negativ priming och därmed på generell nivå kan antas bidra med en önskvärd effekt på klimatet (Zimmerman et al., 2011). I en metaanalys där man urskilde ursprunget på det emitterade kolet visades tydligt att biokol bidrog på ett positivt sätt och att effekten kvarstår under flera år efter tillskottet av biokol (Wang et al., 2016).



Figur 14. Visar effekten av tillskottet av biokol på den naturliga nedbrytningen av kol i marken (Lehmann & Joseph, 2015).

5 Sammanställt resultat

En sammanställd visualisering av miljönyttomodellen illustreras nedan. Effekter med klimatpåverkan har blå färg.



Uttag av biomassa

1. Minskad metanavgång från naturlig nedbrytning
2. Minskad CO₂-avgång från naturlig nedbrytning/förbränning
3. Minskad kväveförråd i mark
4. Påverkade halter av tungmetaller
5. Kväveförlust i pyrolys/förbränning
6. Risk för markkonflikter
7. Påverkan på biodiversitet
8. Nedbrytning av skadliga ämnen och organiska miljögifter
9. Påverkan på långsiktig produktivitet
10. Ökat behov av växtnäring
11. Ev. substitution av restströmmens funktion

Pyrolys av biomassa

12. Projektspecifikt nettoutbyte av energi
13. Påverkat fossilberoende
14. Ökad möjlighet att optimera energisystemet

Biokol i foder/strö

15. Bättre allmänhälsa
16. Minskad behov av veterinärvård

17. Minskad gödsellukt
18. Minskad metanavgång
19. Snabbare viktuppgång
20. Fler värpägg
21. Minskad antibiotikaanvändning
22. Lägre celltal & högre proteinhalt i mjölk
23. Minskad ammoniakavgång i ströbädd

Biokol i mark

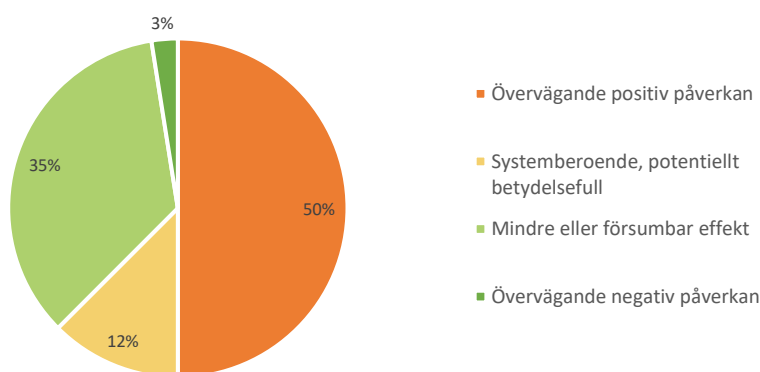
24. Minskad behov av vattning
25. Ökad resiliens mot torka & skyfall
26. Förändrad albedo
27. Ökad skörd
28. Minskad lustgasavgång
29. Minskad metanavgång
30. Minskad behov av växtnäring
31. Minskad näringsläckage
32. Minskad behov av kalk
33. Minskad behov av torv
34. Minskad behov av markarbete
35. Mer biologisk mångfald
36. Mer vitala ekosystem
37. Ökad livsmedelssäkerhet
38. Minskade pesticidhalter
39. Återställning av utarmade jordar
40. Påverkat SOC (kolinlagring, priming)

Figur 15. En sammanställd visualisering av miljönyttomodellen

6 Slutsatser

Övervägande positivt

Den sammanställda bilden visar att 20 effekter har en övervägande positiv påverkan, att jämföra mot endast en (1) övervägande negativ effekt. Det är dock viktigt att samtidigt notera att 5 effekter är systemberoende och potentiellt betydelsefulla. Det är även intressant att 29 slutliga effekter av totalt 40 (73 %) har koppling till klimatpåverkan i systemet, varav 17 påverkar positivt. Sammantaget visar analysen att en kolsänksrätt som genererats med beaktande av systemberoende effekter sannolikt stärker klimatnyttan av den genererade kolkrediten snarare än att minska eller degradera den deklarerade kolinlagringens nettoeffekt.



Figur 16. En sammanställning av biokolets effekter och dess påverkan

Särskilt betydelsefulla effekter

Det finns två effekter som vi särskilt vill lyfta fram och som har stor potential att påverka helheten. Dessa är **minskad metanavgång från idisslande djur vid tillsats av biokol i foder** (nr 18) samt **minskad lustgasavgång från mark** (nr 28). Båda dessa effekter har stor påverkan på de globala utsläppen och de fältförsök som gjorts visar goda resultat. Om de kan kvantifieras med platsspecifika förutsättningar skulle det markant förändra marknaden för kolsänksrätter till ett mer gynnsamt läge. Fortsatt forskning och fältförsök föreslås därför prioritera dessa effekter.

Transparens är viktigt

Det är tydligt hur komplext det är att koppla biokolet till specifika effekter, helt enkelt för att förändringen sker i ett ekosystem med oändligt antal variabler. Empiriska data från längre fältförsök är önskvärt, samtidigt har vi inte tid att vänta på flera decennier långa experiment utan behöver omställning så snart som möjligt. Denna balans är svårnavigerad men underlättas av transparens, både kring vad man faktiskt har kännedom om och vad man istället baserar på antaganden.

Nästa steg

Miljönyttomodellen kartlägger 40 effekter som påverkar ett system med biokol i lantbruket, varav de flesta har direkt påverkan på klimateffekten bakom kolsänksrätterna. Följande nästa steg vore önskvärda:

1. Tillämpa modellen på ett eller flera specifika biokolssystem för att se vilken påverkan som effekterna kan ge, särskilt de A- och B-kategoriserade effekterna som har påverkan på klimatet.
2. Undersöka hur de identifierade effekterna i ett första led kan kvantifieras och i ett andra led mätas, följas upp samt verifieras.
3. Sammanställa de viktigaste punkterna ”att tänka på” för producenter och tillverkare av biokol för att maximera den positiva effekten av systemeffekter för klimat och miljö.

7 Referenser

- Avfall Sverige (2018). Marknaden för biokol i Sverige. Rapport 2018:14, Avfall Sveriges Utvecklingssatsning ISSN 1103-4092.
<https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyhetsarkiv/artikel/marknaden-for-biokol-i-sverige/>
- Azzi, E. S., Karlton, E. & Sundberg, C. (2019). Prospective Life Cycle Assessment of Large-Scale Biochar Production and Use for Negative Emissions in Stockholm. *Environmental Science & Technology* 2019 53 (14). <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b01615>.
- Azzi, E. S., Karlton, E. & Sundberg, C. (2021). Assessing the diverse environmental effects of biochar systems: An evaluation framework. *Journal of Environmental Management*, 286, 112154. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721002164>
- Cross, A. & Sohi, S. P. (2011). The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil Biology & Biochemistry*, 43(11), pp 2127-2134. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.016>.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G. & Zhou, L. (2017). Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review. *Pedosphere*, 27 (4), pp 645-661.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016017603758?via%3Dihub>
- Enell, A., Tiberger C., Larsson M. & Berggren Kleja, D. (2019). Förädling av biokol för en effektivare användning som jordförbättrare i urban förorenad mark, Resultat och slutsatser från laborieförsök, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-09-06.
<http://projects.swedgeo.se/biokol/wp-content/uploads/2020/01/Underskriven-Rapport.pdf>
- European Biochar Certificate, 2013 [besökt 2021-08-31] <https://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/feedstock-positive-list.pdf>
- Fransson, A. M., Gustafsson, M., Malmberg, J. & Paulsson, M. (2020). Biokolhandboken – för användare. <https://biokol.org/wp-content/uploads/biokolshandbok.pdf>
- Gitau, K. J., Mutune, J., Sundberg, C., Mendum, R. & Njenga, M. (2019). Implications on Livelihoods and the Environment of Uptake of Gasifier Cook Stoves among Kenya's Rural Households. *Applied science*. 9(6), art nr.1205. <https://doi.org/10.3390/app9061205>.
- Hagemann, N., Spokas, K., Schmidt, H.-P., Kägi, R., Böhler, M. A. & Bucheli, T. D. (2018). Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs. *Water* 2018, 10, 182. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/182>
- Hushållningssällskapet Sjuhärad (2021). [besökt 2021-09-08]
<https://hushallningssallskapet.se/?projekt=biokol-for-minskat-utslapp-av-ammoniak-och-vaxthusgaser-pa-notkottsgard-med-biogas>
- Höglund, R. (2020). Removing Carbon Now: How can companies and individuals fund negative emissions technologies in a safe and effective way to help solve the climate crisis? Oxfam discussion papers.

Ippolito, J. A., Laird, D. A. & Busscher, W. J. (2012). Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41 (4), pp 967-972. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0151>

Jindo, K., Sánchez-Monedero, M. A., Mastrolonardo, G., Audette, Y., Higashikawa, S. H., Alberto Silva, C., Akashi, K. & Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 2: A review of the biochar roles in growing media, composting and as soil amendment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7 (16). <https://link.springer.com/article/10.1186/s40538-020-00179-3>

Kammann, C., Schmidt, H.-P., Messersmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Muller, C., Koyro, H. W., Conte, P. & Joseph, S. (2015). Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Nature scientific reports*. DOI: 10.1038/srep11080

Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Jeffery, S., Kern, J., Novak, J., Rasse, D., Saarnio, S., Schmidt, H.-P., Spokas, K., & Wrage-Mönnig, N. (2018). Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114-139. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1319375>

Klau Berek, A. & Hue, N. (2016). Liming Potential of Biochars. https://www.researchgate.net/publication/308690983_Liming_Potential_of_Biochars

Lantmännen (2019). Framtidens jordbruk - Vägen mot ett klimatneutralt jordbruk 2050. <https://www.lantmannen.se/framtidens-jordbruk/rapporten-framtidens-jordbruk/>

Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – a Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 11(2), pp 401-427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>

Lehmann, J. & Joseph, S. (Eds.) (2009). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Derby: Routledge.

Lehmann, J. & Joseph, S. (Eds.) (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, 2nd ed. Routledge, London and New York. <https://doi.org/10.4324/9781849770552>

Meyer, S., Bright, R. M., Fischer, D., Schulz, H. & Glaser, B. (2012). Albedo Impact on the Suitability of Biochar Systems To Mitigate Global Warming. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 22, 12726–12734. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es302302g>

Nair, V. D., Nair, P. K. R., Dair, B., Freitas, A. M., Chatterjee, N. & Pinheiro, F. M. (2017). Biochar in the Agroecosystem–Climate-Change–Sustainability Nexus. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.02051/full>.

Papageorgiou, A., Azzi, E. S., Enell, A. & Sundberg, C. (2021). Biochar produced from wood waste for soil remediation in Sweden: Carbon sequestration and other environmental impacts. *Science of the Total Environment* 776. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721010202?via%3Dihub>

- Råberg, T. & Myrbeck, Å. (2021a). Nedbrytningsförsök av torrefierad GROT och biokol. RISE Research Institutes of Sweden AB, Rapport: 2021:48. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1556168/FULLTEXT01.pdf>
- Råberg, T. & Myrbeck, Å. (2021b). Växtodlingsförsök med torrefierad GROT från Sveaskog. RISE Rapport 2021:49. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1554305&dswid=-6590>
- Schmidt, H., Anca-Couce, A., Hagemann, N., Werner, C., Gerten, D., Lucht, W. & Kammann, C. (2019a). Pyrogenic carbon capture and storage. *Journal of Global Change Biology Bioenergy*, 11 (4), pp 573-591. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12553>
- Schmidt, H., Hagemann, N., Draper, K. & Kammann, C. (2019b). The use of biochar in animal feeding. *PeerJ* 7:e7373. <https://peerj.com/articles/7373/>
- Shackley, S., Ruyschaert, G., Glaser, B. & Zwart, K. (2016). *Biochar in European Soils and Agriculture, Science and Practice*. New York: Routledge
- Skogsstyrelsen (2019a). RAPPORT 2019/13 Regler och rekommendationer för skogsbränsleutttag och kompensationsåtgärder – Kunskapsunderlag. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2019/rapport-2019-13-regler-och-rekommendationer-for-skogsbransleutttag-och-kompensationsatgarder---kunskapsunderlag.pdf>
- Skogsstyrelsen (2019b). RAPPORT 2019/14 Regler och rekommendationer för skogsbränsleutttag och kompensationsåtgärder – Vägledning. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2019/rapport-2019-14-regler-och-rekommendationer-for-skogsbransleutttag-och-kompensationsatgarder.pdf>
- SLU. (2021). The organic dairy farm as a carbon sink. [Besökt 2021-09-07] <https://www.slu.se/en/faculties/vh/research/forskningsprojekt/not/the-organic-dairy-farm-as-a-carbon-sink/>
- Sykes, A. J., Macleod, M., Eory, V., Rees, R. M., Payen, F., Myrghiotis, V., Williams, M., Sohi, S., Hillier, J., Moran, D., Manning, D. A. C., Goglio, P., Seghetta, M., Williams, A., Harris, J., Dondini, M., Walton, J., House, J., Smith, P. (2019). Characterising the biophysical, economic and social impacts of soil carbon sequestration as a greenhouse gas removal technology. *Global Change Biology*, 26 (3), pp 1058-1108. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.14844>
- Tisserant, A., Cherubini, F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. *Land*, 8, 179. <https://doi.org/10.3390/land8120179>
- Wang, J., Xiong, Z. & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*. 8(3), pp 512–523. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>.
- Yan Man, K., Chow, K. L., Bon Man, Y., Yin Mo, W. & Hung Wong, M. (2020). Use of biochar as feed supplements for animal farming, *Critical Reviews in Environmental Science and*

Technology, 51:2, 187-217, DOI: 10.1080/10643389.2020.1721980.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2020.1721980?scroll=top&needAccess=true>

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 and Biochemistry*. 43(6), pp 1169–1179. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005>

Kontakt: **Cecilia Hermansson**, Hushållningssällskapet Sjuhärad
cecilia.hermansson@hushallningssallskapet.se
<https://hushallningssallskapet.se/?projekten=kolsanksratter-med-biokol>

