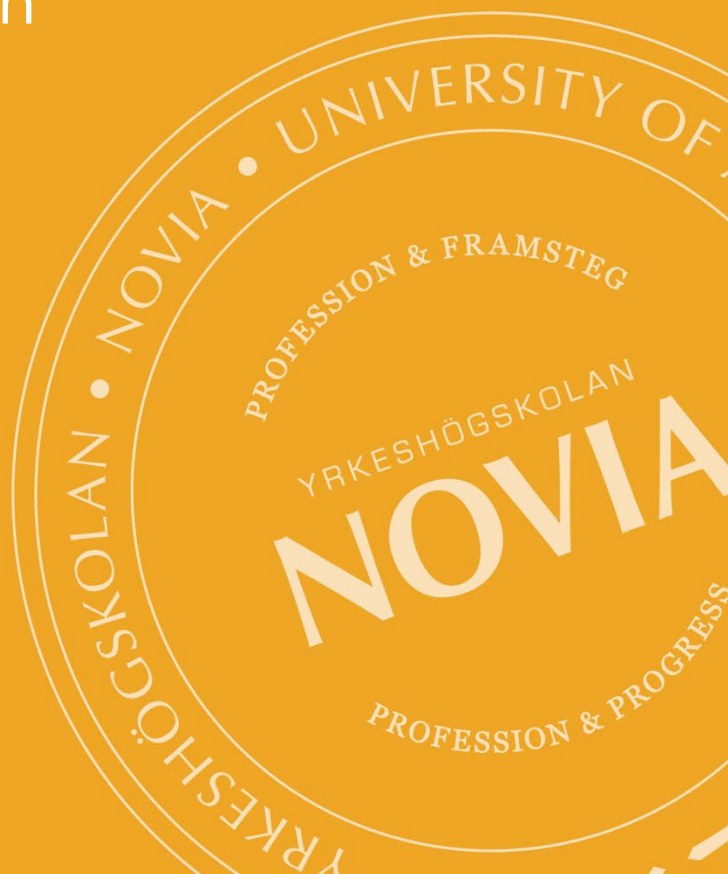


# Framtiden ser ljus ut för biokol

Veronika Bäckman

Serie A: Artiklar



Veronika Bäckman, Yrkeshögskolan Novia  
**Framtiden ser ljus ut för biokol**

Yrkeshögskolan Novia, Wolffskavägen 31, 65200 Vasa, Finland © Yrkeshögskolan Novia och  
Veronika Bäckman

Novia Publikation och produktion, serie A: Artiklar 1/2022  
ISBN 978-952-7048-95-5 (Online) ISSN: 1799-4187  
CC BY 4.0

# Framtiden ser ljus ut för biokol

Europeiska unionens 27 medlemsländer har åtagit sig att fram till år 2030 minska sina klimatutsläpp med 55 % jämfört med år 1990 och att bli kolneutrala senast år 2050. Den "gröna givna" är EU:s övergripande strategi som styr satsningar till högre resurseffektivitet, övergång från fossila till biobaserade råvaror och implementation av nya teknologier. Även bioekonomibranscher måste bli mera cirkulära vilket betyder att sidoströmmar från bioekonominäringar ska återvinnas i allt högre grad och då kan biokol spela en viktig roll. I skrivande stund pågår en hel del forskning och pilotförsök som utreder miljö- och produktionsnytta av biokol i jordbruket samt övriga branscher. Biokol har alla förutsättningar att bli en alltmer intressant handelsvara i jakt på kolbindningsteknologier.

Satsningar i produktion och forskning om biokol har vuxit betydligt sedan år 2015. Både samhälle och näringsliv anser att biokol är en viktig länk på väg till en cirkulär ekonomi eller snarare cirkulär bioekonomi där kaskadprincipen vid förädling av biomassor bör tillämpas. Biokol är en återvinningsprodukt som kan lagas av samhällets samt industrins inkl. jordbrukets växtbaserade sidoströmmar (biomassa). Produktionsteknologins pyrolys är energieffektiv och biokol har visat sig ha många användningsområden. Kommersialisering av produkter som baserar sig på biokol är ett mycket viktigt steg för att uppnå ekonomisk hållbarhet på längre sikt. Där återstår mycket arbete inte minst inom att öka kunskapsnivån hos potentiella målgrupper. I slutändan betyder detta en win-win situation för samhällsekonomi och miljö.

## Vad är biokol (eng. biochar, fi. biohiili)?

Biokol är en produkt som framställs genom att upphetta biomassa i en syrefattig miljö. Den här framställningsprocessen tillhör den gruppen av processer som kallas pyrolys. Enligt European Biochar Certificate (EBC) är biokol inte avsett att brännas för energiproduktion, det skall användas som långvarig kolsänka eller som en ersättning för fossila råvaror i industriproduktion.

Biokol är förkollad biomassa som består av cirka 70 % kol (C) samt andra icke organiska ämnen som fosfor, kalium, metaller och karbonater. Biokolets kemiska sammansättning beror väldigt mycket på typ av råvara det produceras från samt själva pyrolysisprocessen. Biokol bär dock på vissa kemiska och fysiska egenskaper som är gemensamma för alla sorter av biokol oberoende produktionsteknologi (Fransson et al, 2020):

- är stabila och reagerar inte kemiskt med sin omgivning
- deras porösa struktur ger en hög vattenhållande kapacitet
- deras stora yta ger en hög katjonutbyteskapacitet och därmed en hög näringshållande kapacitet
- deras mikroskopiska sprickor och porösa håligheter bildar lämpliga miljöer för mikroorganismer
- har neutralt till högt pH värde (7-11)

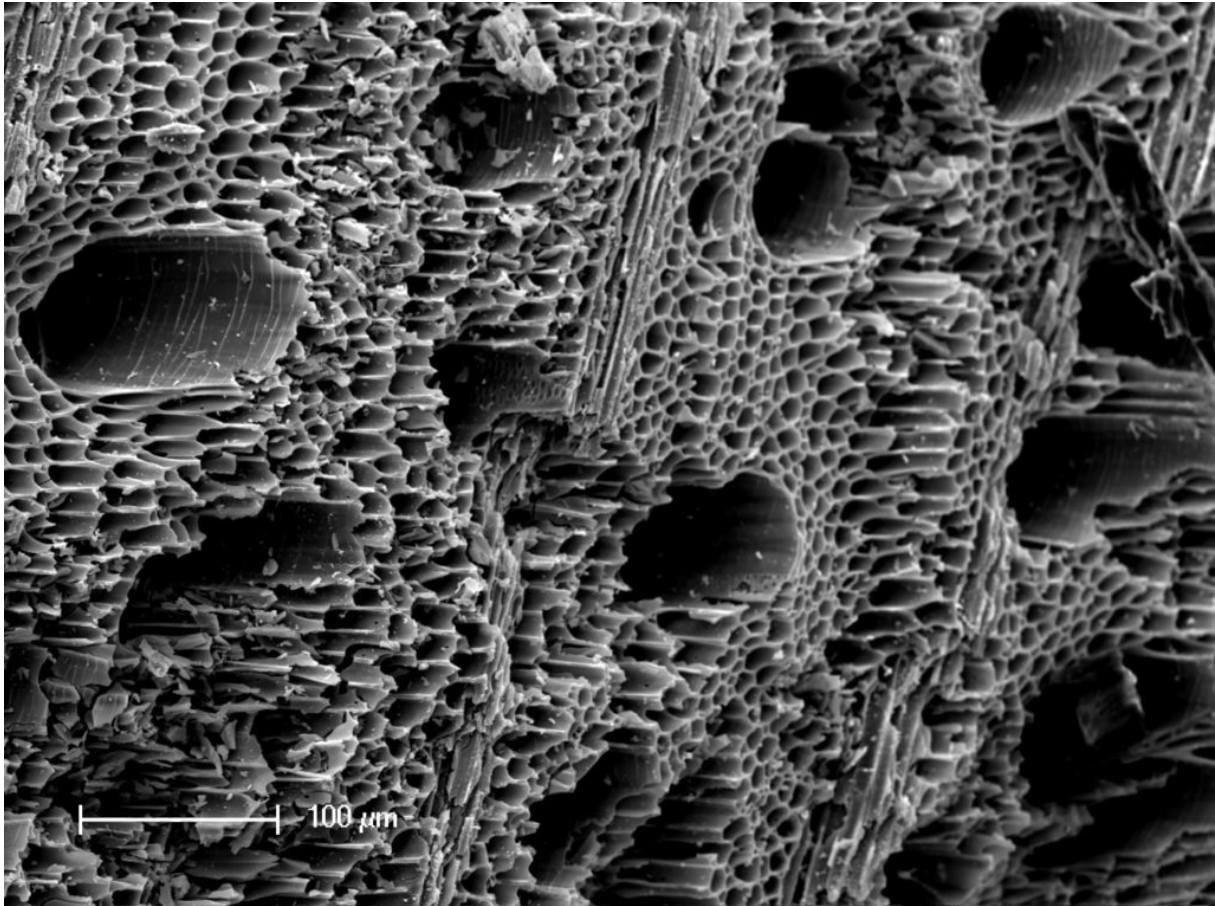


Bild 1: Mikroskopiskt foto av biokol (carbongold.com). Biokol kan ha en yta som är över 300 m<sup>2</sup>/g.

Pyrolys eller torrdestillation är en process där biomassa upphettas till en hög temperatur (350–1 000 °C) i en syrefri miljö. När man inte tillför syre förbränns massan inte helt. Pyrolysen är termisk nedbrytning där biomassans större och komplexa kolvätemolekyler bryts ned till mindre och enklare molekyler bestående av gas (icke kondenserbara gaser – syntesgas), pyrolysvätska (kondenserbara gaser – biooljor och tjära) och kol. I extrema fall bryts molekylerna ned ända till grundämnen. Biokol är då en fast restprodukt av en pyrolysprocess. Om man istället skulle bränna biomassan skulle biokolet avgå till luften i form av koldioxid.

Pyrolys är den enda teknologiprocess som godkänns av EBC som metod för produktion av biokol. Andra förkolningsprocesser så som torrefiering, hydrotermisk karbonisering (slutprodukt är så kallade hydrokol) och koksproduktion godkänns inte av EBC. Produkter av sådana processer får inte kallas för biokol fast den tillverkas av biomassa. Samtidigt finns det krav på vilka råvaror som får och inte får användas i tillverkningen för att produkten ska ha benämning "biokol".

### European Biochar Certificate (EBC)

Det Europeiska Biokolcertifikatet (EBC) är en frivillig standard för industri och oberoende institution för kvalitetsgranskning som utvecklats av europeiska vetenskapsmän. Syftet är att säkerställa hållbar biokolproduktion som bygger på senaste forskning inom området samt hög transparens inom produktionen. Tillverkare av certifierad biokol måste registrera sig och ta regelbundna prov eller prov från varje sats samt skicka dem till ackrediterade laboratorier.

Kraven i standarder gäller utgångsmaterialet (biomassa), tillverkningsprocessen (pyrolysen) och biokolets egenskaper inkl. gränsvärden som produkten inte får överskrida. Det finns flera klasser av certifikatet där kraven skiljer sig något: EBC-Basic Materials, EBC-Feed, EBC-Agro (AgroOrganic), EBC-Urban och EBC-ConsumerMaterials.

Allmänna krav på biokolets egenskaper som måste deklarerars eller följas upp:

- ✓ Andel av organiskt kol i torrsubstans ( $C_{org}$ ) måste deklarerars.  $C_{org}$  rör sig mellan 35 och 90 % beroende på utgångsmaterialet (biomassa av trä ger ca 70–90 % och av halm 50–60 %  $C_{org}$ ).
- ✓ Molara väte-kolkvoten ( $H/C_{org}$ ) bör vara under 0,7. Förhållandet mellan väte och kol är den viktigaste indikatorn för att beskriva biokolets stabilitet och förmåga att binda kol.
- ✓ Molara syre-kolkvoten ( $O/C_{org}$ ) bör vara under 0,4. Det är möjligt att bara beräkna värdet istället för att mäta det.
- ✓ Flyktiga organiska föreningar (VOC) bestäms genom termisk gravimetrisk analys (TGA). VOC skapar vissa centrala egenskaper i biokol, dock krävs TGA bara i igångsättande av produktionen.
- ✓ Innehåll av följande ämnen måste deklarerars: kväve (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), kalcium (Ca) och järn (Fe).
- ✓ Gränsvärden för tungmetaller givna för respektive certifikatklass får inte överskridas.
- ✓ Följande egenskaper måste deklarerars: pH, salthalt, skrymdensitet (eng. bulk density) och vattenhalt.
- ✓ Övriga: vattenhållningskapacitet, elektrisk konduktivitet, specifik yta (BET surface area) mätning rekommenderas, gränsvärde för PCB och PCDD/F måste följas upp.

Hur mycket man får ut i form av biokol varierar mellan anläggningar då teknik, tryck och sluttemperatur påverkar utfallet. För att få ett högt utfall av biokol med hög porositet och största yta bör pyrolysen ske vid en temperatur på 400–600 °C (Fransson et al, 2020). Som ett exempel kan slutresultatet genom metoden av långsam pyrolysis (tiden för att värma upp biomassapartiklarna är relativt lång) bli ca 25–35 vikt-% biokol och 30–50 vikt-% pyrolysolja (Gustafsson, 2013). Ju högre temperaturen vid pyrolysen blir, desto färre makro- och mesoporer får det resulterande biokolet samtidigt som biokolets yta blir mera hydrofob. Generellt ger mycket höga temperatur mer gas och lägre temperatur mera vätska (pyrolysvätska, tjära).

Moderna industrianläggningar för produktion av biokol använder sig av kontinuerliga processer som är energieffektiva och där slutprodukterna består av biokol och pyrolysgas. I sådana anläggningar strävar man efter att undvika produktion av bioolja vilket är möjligt genom att förhindra nedkylning av gaserna som bildas under pyrolysisprocessen innan förbränningen av dessa sker för att producera värme (Malmberg, K., 2021). Dock går en del av gasförbränningen åt för att upprätthålla pyrolysisprocessen. Anläggningar med kontinuerlig pyrolysisprocess är avsedda primärt för värmeproduktion med biokol som restprodukt.

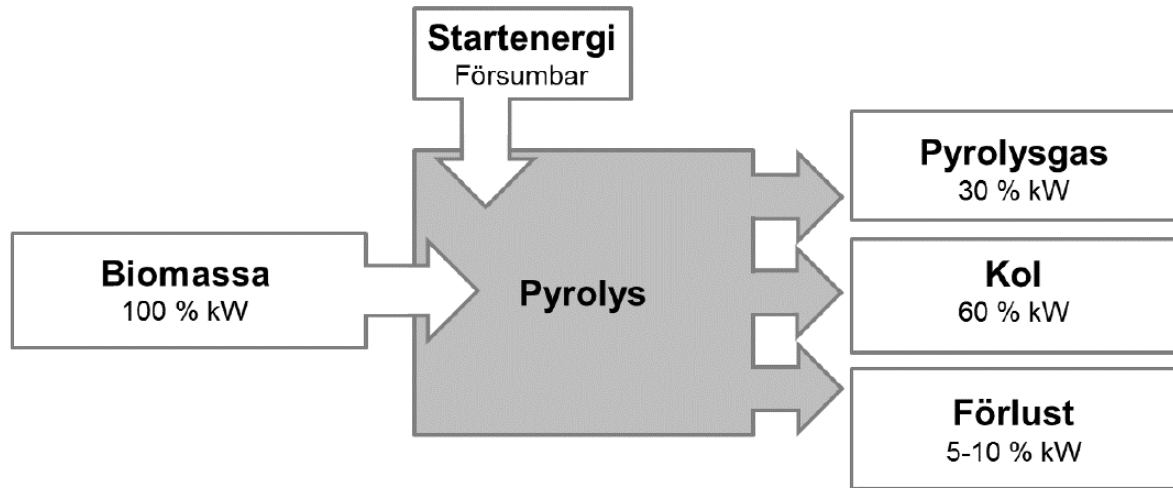


Bild 2: Energibalans vid produktion av biokol via pyrolysis (Gustafsson, 2013)

Energibalansen som presenteras i Bild 2 gäller pyrolysanläggningar med kontinuerlig process. Jämfört med anläggningar avsedda för förbränning (träflis, pellets) är pyrolysanläggningar effektivare (Gustafsson, 2013). Balansen påverkas dock av kvaliteten på utgångsmaterialet (t.ex. fukthalt). Samtidigt bör man understryka att pyrolysis möjliggör effektiv förädling av avfall av dålig och ojämn kvalitet (t.ex. hästgödsel) som skulle behöva extra behandling för att användas för traditionell biogasproduktion genom rötning av biomassa.

## Miljönytta med biokol

Biokol anses ha stor miljönytta främst som kolsänka som produceras av biobaserade sidosrömmar från industri eller samhälle. Varje ton producerat biokol binder 200–300 kg kol från atmosfären. Biokol kommer antagligen att spela en viktig roll för att uppnå EU:s ambitiösa klimatmål och för att övergå till mera cirkulärekonomi. Flera andra nyttor för miljö uppstår vid övrig användning som vattenrening och återvinning av näringsämnen.

## Biokol som kolsänka

Via fotosyntesen tar växter upp koldioxid från atmosfären och omvandlar det till kolhydrater som lagras i växternas celler. När växterna dör och förmultnar eller bränns återgår kolet i form av koldioxid tillbaka till atmosfären. Om man i stället omvandlar växtbiomassan med hjälp av pyrolysis till biokol lagras kolet som i andra fall skulle frigöras till atmosfären i denna produkt. På detta sätt kan man ta bort koldioxid från kretsloppet och lagra det i flera hundra till några tusen år.

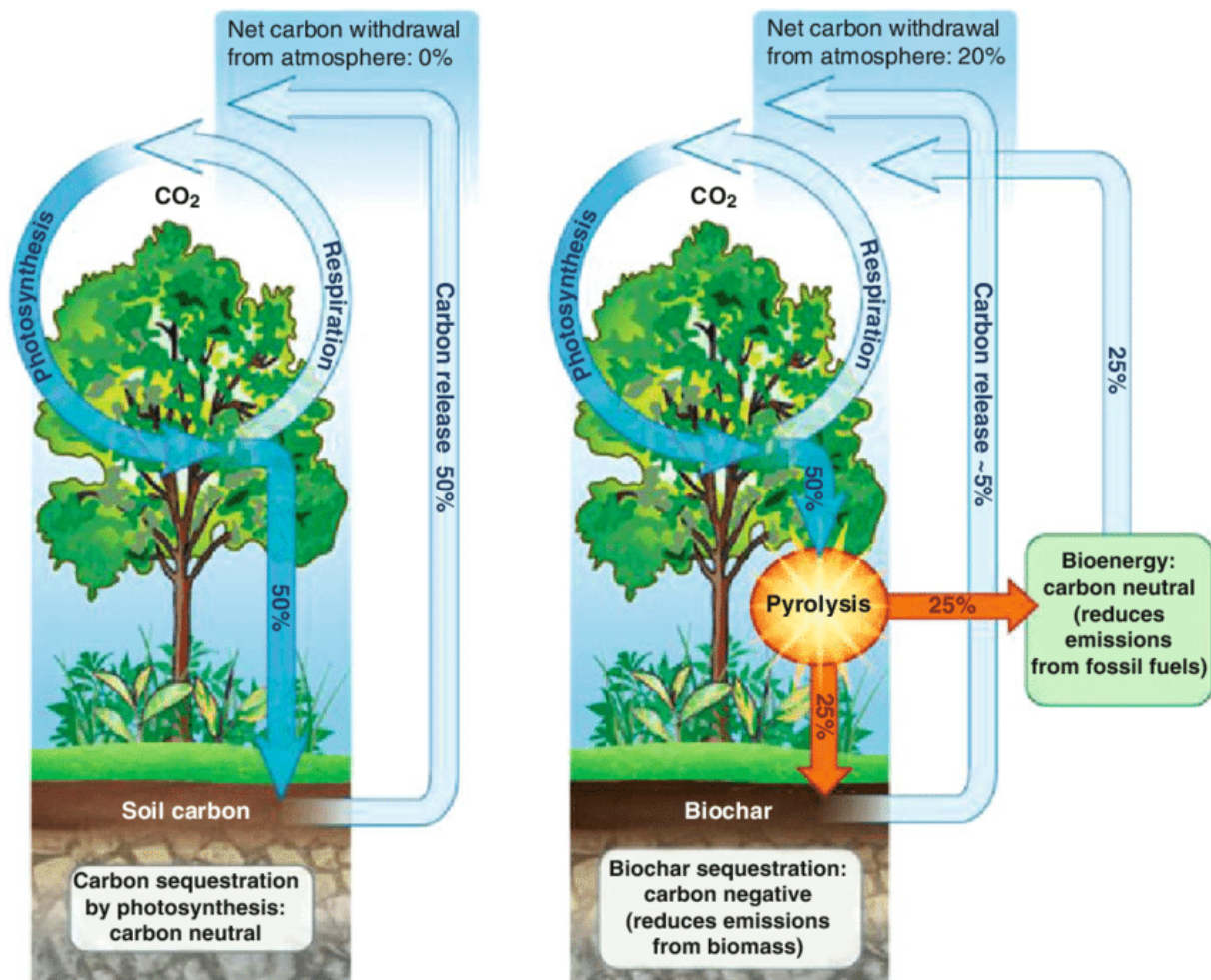


Bild 3: Biokol kan fungera som kolsänka eftersom det binder en del kol så att det inte återvänder till atmosfären i form av koldioxid (Copyright # 2007 Nature Publishing Group; Lehmann, 2007)

Biokol som kolsänka klassas som Negative Emission Technology (NET) av IPCC sedan 2018. Biokol är en mycket stabil produkt som beräknas ha halveringstid på 150–5 000 år. Det är dock viktigt att det produceras på ett hållbart sätt. Anläggningar som tillverkar biokol bör vara energieffektiva och råvaran bör härstamma enbart från biologiskt avfall så att den slutliga nyttan tydligt överstiger kostnaderna dvs att det inte finns högre alternativa värde för förädling av biomassan. European Biochar Certificate (EBC) kunde vara svar på stränga miljökrav för produktionsteknologi av biokol för att garantera att både produkten och processen uppfyller stränga.

### Cirkulär ekonomi och biokol

En av de viktigaste principerna i cirkulär ekonomi är att avfall betraktas som en resurs så att materialkretsloppen sluts. Företag, hushåll och offentlig sektor genererar stora mängder bioavfall som bör sorteras och tas till användning i allt högre grad enligt EU:s ambitiösa målsättningar inom klimatpolitiken samt materialåtervinning. Slutna **kolkretslopp** och kolnegativa teknologier får alltmer tyngd för att fossila råvaror ska kunna fasas ut i framtiden och klimatmålen nås. Effektiv återvinning av biomassa kan skapa nya material och produkter inkl. förnyelsebar energi som kan ersätta fossilbaserade produkter.

En grundförutsättning är dock att sådana teknologier uppfyller FN:s mål för hållbar utveckling samt Parisavtalet om klimatförändring. I EU återspeglas kraven i LULUCF förordningen<sup>1</sup> samt i att användning av råvaror från skog är i linje med **kaskadprincipen** så långt som möjligt enligt förslaget för RED II<sup>2</sup>. Principen gäller främst förädling av biomassa från skogsbruk men kunde tillämpas till alla biomassa som kan användas för energiproduktion. Syftet med tillämpning av kaskadprincipen är att skapa ekonomiska förutsättningar för nya produktions- och konsumtionsmönster för mer hållbara sätt att använda biomassa, dvs att råvaror används först och främst för framställning av produkter med högre värde än förbränning för energiproduktion (energiproduktion nedprioriteras). Frågan är om kraven kan göra framställning av biokol genom pyrolys med energi som biprodukt intressantare som investeringsobjekt än traditionell energiproduktion via förbränning.

Ett annat exempel som kan göra produktion av biokol intressantare är EU:s förordning om gödselprodukter som CE-märks och som saluförs eller tillhandahålls på EU-marknaden. Syftet att främja en ökad användning av återvunna näringsämnen syns i beredningen av lagstiftningen. Tidigare omfattade förordningen nästan enbart utvunnet eller kemiskt framställt oorganiskt material. I den nya förordningen ingår förutom oorganiska gödselmedel också organiska gödselmedel, kalkningsmedel, jordförbättringsmedel, odlingssubstrat och växtbiostimulanter. Biokol kan bli en viktig råvara i återvunna gödselmedel som dessutom minskar slutproduktens kolavtryck.

---

<sup>1</sup> The Regulation on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry

<sup>2</sup> EU's Renewable Energy Directive, Recast to 2030

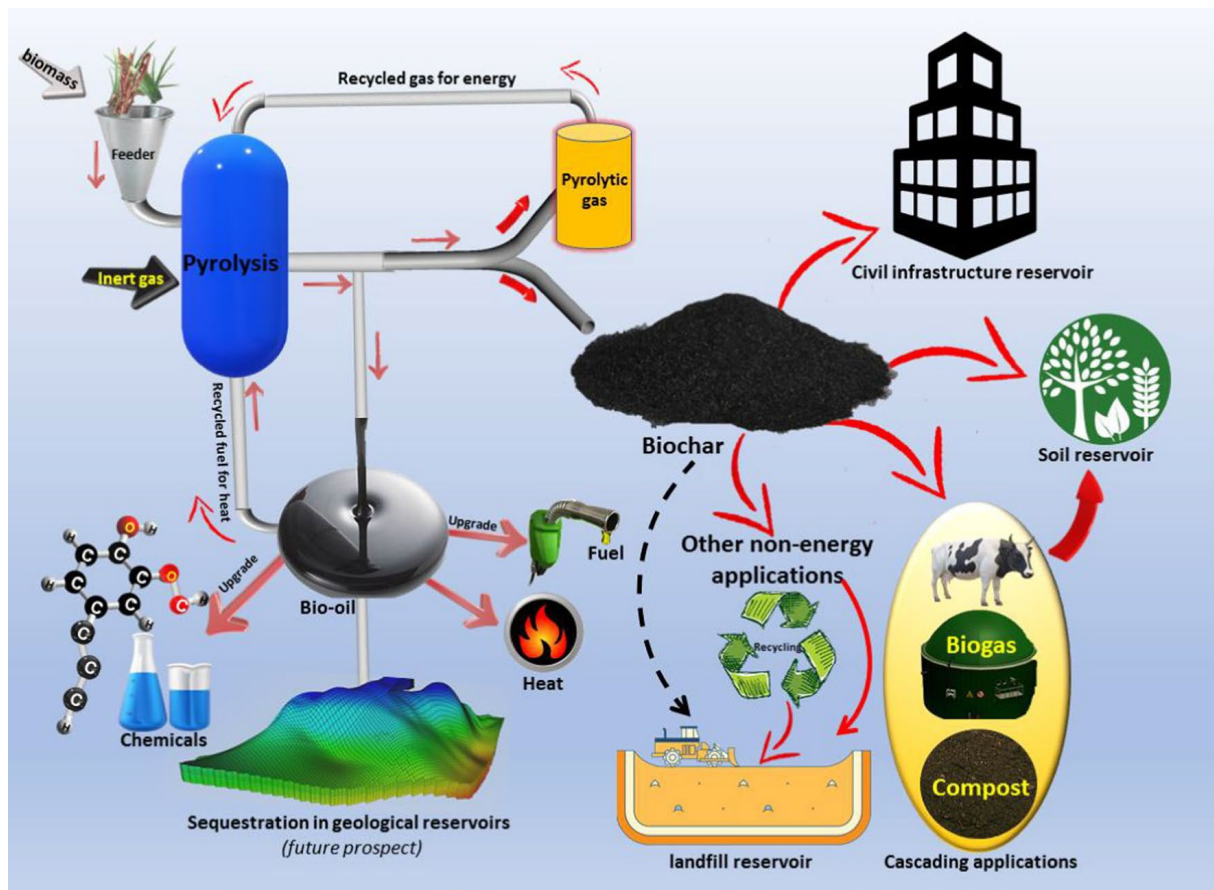


Bild 4: Biokol som en del av cirkulärekonomi (Fawzy et al, 2021)

I dagens läge används produkter med biokol redan i flera sektorer. I gröna anläggningar i städer används biokol för att bygga gröna klimatskal (odlingar i "skelettjordar" - gröna tak, väggar och vegetationssystem på infrastruktur) samt att rena avrinningsvatten från skadliga ämnen. Biokol kan delvis ersätta råvaror som torv i myllblandningar eller växtunderlag. Olika slags vattenrening kan använda sig av biokol som filtreringsmaterial för att det effektivt binder näringsämnen, vissa tungmetaller samt PAH (polycykliska aromatiska kolväten). I byggnadssektorn testas biokol som fyllnadsmaterial i betong för att det har vissa egenskaper som gör att betongen blir starkare och tätare och dessutom avsevärt minskar klimatavtrycket från betongtillverkningen.

Enell, A. et al (2020) sammanfattar försök med användning av biokol för absorbering och rening av jordmassor som är förorenade av tungmetaller samt innehåller organiska miljögifter som PAH. Biokolet (3 vikt-% inblandning) visade sig vara effektiv för att minska utlakning av PAH till 1 % och vissa metaller (koppars, kvicksilver och zink). Däremot fungerade biokolet sämre med anjoniska ämnen såsom arsenik, krom, molybden, m.fl. och kunde öka spridningen av dem.

### Effekter av biokol i jordbruket

Tillförsel av biokol anses påverka markens bördighet genom att minska urlakning av näringsämnen, förbättra markens vattenhållningsförmåga samt markens struktur och öka kolhalten i marken. I djurproduktion förväntas biokol ha positiva effekter i djurets matsmältning samt behandling av gödsel för att minska utsläpp av näringsämnen och växthusgaser. Effekter och mekanismer som ligger bakom effekterna är dock väldigt komplexa och forskningsresultat ger inte alltid entydiga svar.

## Växtodling

Effekter av tillsatt biokol på markens egenskaper sammanfattas bland annat i Ding, Y. et al (2016) och Lévesque et al (2022). Tillförsel av biokol påverkar markens kemiska, fysiologiska och biologiska egenskaper vilket har både kort- och långsiktiga effekter på markens bördighet samt utsläpp av växthusgaser.

Enligt sammanfattningen av Ding, Y. (2016) tyder flera tidigare forskningsresultat på att behandling med biokol förbättrar upptagningen av näringsämnen i marken genom ökad vattenhållningskapacitet, förbättrad porositet samt pH så att utsläpp av främst lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) och kväveoxid minskar med 20–80 %, men det finns även studier som inte stöder resultaten. En del forskning fokuserar på hur biokol förbättrar mikrobiologiska processer, via t.ex. vissa enzymer involverade i C och N näringskretslopp, som i sin tur ökar näringsupptagning och minskar utsläpp av vissa växthusgaser. En stor del av forskningen har dock gjorts som laboratorieförsök och det skulle behövas flera långvariga fältförsök enligt Ding (2016).

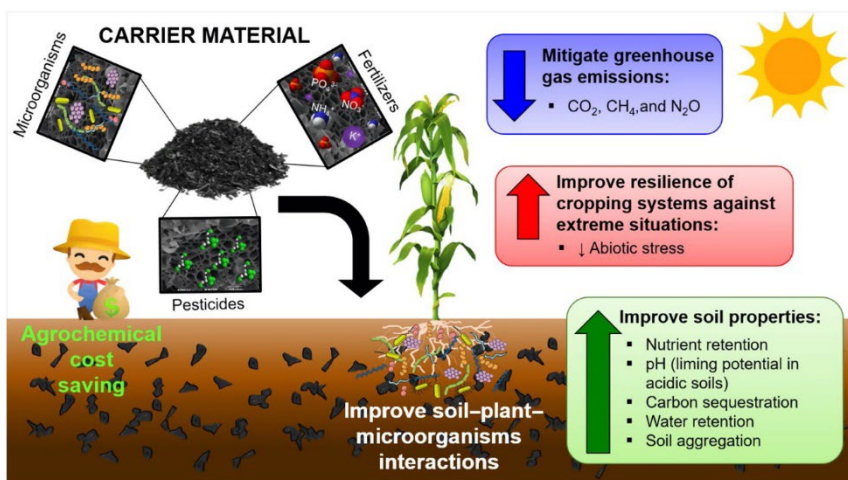


Bild 5: Förväntade effekter av biokol i marken (Lévasque et al., 2022)

Det finns för lite forskning som beskriver långvariga effekter av biokol i tempererat klimat, speciellt om hur länge biokol bevaras och hur det beter sig i marken. Lévesque et al (2022) sammanfattar biokolets olika effekt på jordar i tempererat klimat. Effekterna visade sig vara många samt komplexa och kan vara både positiva och negativa beroende på biokolets andel av labilt kol, flyktiga organiska föreningar, porositet, pH och adsorptionsförmåga. Samtidigt spelar jordart och jordens egenskaper stor roll. Det finns stora skillnader i effekterna på markens mikroflora mellan sand- och lerjordar samt mellan jordar med högt respektive lågt pH. Som exempel ledde tillförsel av biokol i sandiga jordar (i 4 år i rad) till en märkbar ökning av kol bundet i mikrober (eng. microbial biomass carbon). Biokol hade positiv effekt på näringsupptagning i mycket sura jordar eftersom det höjde jordens pH.

Men biokol i sig själv "gödslar" inte jorden, det samspelar med både organiska och icke-organiska gödselmedel genom att påverka upptagningen av näringsämnen. Likaså Kalu, S. (2022) drar i sin forskning slutsatsen att enbart tillförsel av biokol inte har märkbart positiva effekter på markens bördighet i boreala jordar. Kalu konstaterar att det är tryggt att tillföra biokol i jorden och att biokol utan vidare ökar markens kolbindning. Kalu föreslår att vidare forskning hellre bör fokusera på applikation av biokol berikade med näringsämnen för att öka nyttan av biokolapplikationer ur agroekonomisk synvinkel.

## Djurproduktion

Biokolets förmåga att adsorbera giftiga ämnen anses kunna förbättra djurens hälsa genom bättre sjukdomsresistens och därför främja djurens tillväxt eller produktionsförmåga. En annan effekt som undersöks är om tillsats av biokol samtidigt kan minska bildning av växthusgaser så som metan via förbättrad matsmältning hos djur. Schmidt et al (2019) granskade resultaten av 112 vetenskapliga skrifter och drog följande slutsatser:

de flesta studier bekräftar att tillsats av biokol i foder hade positiv inverkan på adsorption av toxiner, förbättrad matsmältning, blodvärde, utfodringseffektivitet, köttkvalitet och utsläpp av växthusgaser hos alla sorter av produktionsdjur, dock var inverkan statistiskt obetydlig (trenden var ändå positiv) i en stor del av studierna;

negativa effekter var sällsynta (effekt på immobilisering av fettlösliga vitaminer) därför bör man överväga användning av biokol under längre period;

vid undersökning av biokolets effekter saknades likaså hur dosering av biokol påverkar resultat och därför är det inte möjligt att generalisera resultaten;

det finns goda förutsättningar att använda biokol som fodertillsats i syfte att minska näringsutsläpp och utsläpp av växthusgaser speciellt i samband med andra åtgärder och applikation i marken för att öka kolbindning.

På djurgårdar (t.ex. mjölkgårdar) kan biokol appliceras i hela produktionskedjan dvs från odling och foderkonservering (ensilering) till utfodring samt gödselhantering. Vid SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet) i Uppsala testade man följande förväntade effekter av biokol:

- ✓ Förbättrat fodervärde och säkrare ensilering – kan biokoltillsats minska vattenaktiviteten och ge samma effekt som långt driven förtorkning vid en lägre torrsubstans men med bibehållen packningsförmåga och utan bladspill?
- ✓ Minskad bildning av metan och ammoniak i vommen (in vitro försök)
- ✓ Torrare gödsel och renare djur med tillsats av biokol i ensilaget eller direkt i fodret
- ✓ Minskad bildning av metan och ammoniak vid lagring av flytgödsel

Även här saknade resultaten statistisk signifikans (Milton, I., 2022 och Eriksson et al, 2022). Eriksson et al (2022) undersökte inverkan av olika nivåer av tillsatt biokol (0, 2, 4 och 6 % i torrsubstans) i ensilage i form av både laboratorieförsök och i produktion av balar. Milton, I. fokuserade i sitt examensarbete på effekter av biokol som tillsats i foder för kvigor (0, 1,5 och 3 %). De parametrar Milton undersökte var träckkonsistens som reagerade något på tillsats av biokol. Den blev hårdare och fastare med högre tillsats av biokol.

Däremot kan nytta på djurgårdar uppstå vid behandling av stallgödsel. Torrare stallgödsel av varierande kvalitet (t.ex. hästgödsel) skulle ha goda förutsättningar att ingå som råvara i framställning av biokol och på detta sätt skapa mervärde genom hållbar energiproduktion.

## Framtiden

Framtiden ser ljus ut för biokol då denna restprodukt har mångsidiga användningsområden och nya möjligheter dyker fram omgående i flera olika branscher. Våra samhällen måste bli mera cirkulära vad det gäller både icke-förnyelsebara och förnyelsebara råvaror därför kommer produkter av sidoströmmar att spela en allt viktigare roll då de kan ersätta fossil-baserade

material. Här kan nämnas återvinning av näringsämnen (fosfor, kväve mfl.) från samhället till jordbruket som en stor utmaning men samtidigt möjlighet för biokolbaserade produkter. Den totala mängd av fosfor i avloppsslam uppskattas vara 7 000 ton i Sverige och ca 5 000 ton i Finland samtidigt som bara en liten del av näringsämnena återförs till jordbruket. Intensiv forskning pågår för att lösa utmaningar med återvinning av näringsämnen från avloppsslam och EBC stänger inte dörren för slam som utgångsmaterial om forskningsresultat ger grönt ljus. Återvinningsprodukter måste dock uppfylla alla hållbarhetskrav vad det gäller slutprodukten samt produktionsprocessen. Utan vidare behovs det fortsättningsvis mera forskning utanför laboratorierna och mera utvecklings- samt upplysningsarbete för att öka både utbud och efterfrågan på biokol.

Befrämjande av produkter som biokol kommer att finnas i den politiska styrmedelslådan då biokolproduktion klassas som NET. I Olsen et al (2021) lyfts biokolets potentiella roll i den gröna omställningen av danskt jordbruk. Biokol förväntas bidra betydligt till kolinlagring i marken samtidigt som restprodukter och avfall från jordbruksproduktion förädlas till både energi och kolsänka. Målet är att öka markens kolhalt med 1,8 och 4,3 milj. ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter årligen till 2030 respektive 2050. Man räknar med att tillförsel av biokol kommer att bidra till målen med ca 30 % (0,49 resp 1,89 milj. ton).



Bild 7: Ett exempel på kommersialisering av biokol (Hasselforsgarden.se)

Företag inom bioekonomibranschen kan se på biokol som en ny affärsmöjlighet med energiproduktion vid sidan om. Biobaserade restprodukter samt olika sorter av biomassor (t.ex. vass eller gräs från skydds-zoner) finns tillgängliga på landsbygden och kunde förädlas mera lokalt. Kostnaderna för att investera i mindre pyrolysanläggningar är måttliga, men planeringen av sådana anläggningar skulle kräva kartläggning av lämpliga biomassor (mängder, egenskaper, avstånd). Biokol anses vara ett alternativ till CCS (Carbon Capture Storage) i EU och då kan man förvänta sig politiskt stöd för sådan typ av näringsverksamhet. Det kan finnas en ökande efterfrågan på produkter med biokol både hos företag som vill minska sin produktions klimatavtryck och bland privata konsumenter som önskar bidra till en mera hållbar konsumtion (Bild 7).

## Källor:

- Enell, A. et al. (2020). Biokol – från organiskt avfall till resurs för nyttiggörande av jordavfall. Syntesrapport. Statens geotekniska institut, SGI. Linköping, Sverige.
- Eriksson, T., Rustas, B.O., Gonda., H. (2022). Biochar addition at ensiling – effects on silage characteristics. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden.
- Fawzy, S., Osman, A.I., Yang, H., Doran, J. and Rooney, D.W. (2021). Industrial biochar systems for atmospheric carbon removal – a review. *Environmental Chemistry Letters* (19). S. 3023-3055. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01210-1>
- Fransson, A.M., Gustafsson, M., Malmberg, J., Paulsson, M. (2020). Biokolhandboken – för användare. Hämtad från [www.biokol.org](http://www.biokol.org)
- Gustafsson, M. (2013). *Pyrolysis för värmeproduktion: Biokol – den primära biprodukten*. Magisterexamen. Akademin för teknik och miljö, avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik. Gävle (Sverige): Högskolan i Gävle.
- Kalu, S. (2022). Long-term effects of biochars as a soil amendment in boreal agricultural soils. Doctoral thesis. Faculty of Agriculture and Forestry. Helsinki: University of Helsinki.
- Malmberg, K. (2021). Introduktion av pyrolysanläggning i Eksjö fjärrvärmesystem. En undersökning om pyrolysanläggningars förutsättningar och eventuella roll inom fjärrvärmeproduktion. Projektarbete i energisystem. Civilingenjörsprogrammet i energisystem, Institutionen för energi och teknik. Uppsala (Sverige): SLU i Uppsala.
- Milton, I. (2022). *Biokol som tillsats i vallensilage utfodrat till mjölkkravvigor: inverkan på konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckens konsistens och färg, samt djurens renhet*. Avancerad nivå, A2E. Uppsala: SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)
- Olesen, J.E., Christensen, S., Jensen, P.R. and Schultz, E. (2021). AgriFoodTure: Roadmap for sustainable transformation of the Danish Agri-Food system. Edited by Rasmussen, C., Kjer, K.H., Kristensen, T.N., Gade, J.J., Haslund, S., Henriksen, C.B., Persson, M., Kryger, K., and Henriksen, L. SEGES, Aarhus, Denmark.
- Lévesque, V., Oelbermann, M. and Ziadi, N. (2022). Biochar in temperate soils: opportunities and challenges. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 102, Number 1 . <https://doi.org/10.1139/cjss-2021-0047>
- Schmidt, H.P., Hagemann, N., Draper, K., Kammann, C. (2019). The use of biochar in animal feeding. PeerJ. 2019 Jul 31;7:e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373> . PMID: 31396445; PMCID: PMC6679646.

YRKESHÖGSKOLAN  
**NOVIA**

Yrkeshögskolan Novia har ca 4800 studerande och personalstyrkan uppgår till ca 320 personer. Novia är den största svenskspråkiga yrkeshögskolan i Finland som har examensinriktad ungdoms- och vuxenutbildning, utbildning som leder till högre yrkeshögskoleexamen samt fortbildning och specialiseringsutbildning. Novia har utbildningsverksamhet i Vasa, Jakobstad, Raseborg och Åbo.

Yrkeshögskolan Novia är en internationell yrkeshögskola, via samarbetsavtal utomlands och internationalisering på hemmaplan. Novias styrka ligger i närvaron och nätverket i hela Svenskfinland.

Novia representerar med sitt breda utbildningsutbud de flesta samhällssektorer. Det är få organisationer som kan uppvisa en sådan kompetensmässig och geografisk täckning. Högklassiga och moderna utbildningsprogram ger studerande en bra plattform för sina framtida yrkeskarriärer.

Yrkeshögskolan Novia  
Rektorat  
Wolffskavägen 31  
65200 Vasa, Finland  
Tfn +358 (0)6 328 5000 (växel),  
[www.novia.fi](http://www.novia.fi)

Antagningservice  
Wolffskavägen 33  
65200 Vasa  
[antagningservice@novia.fi](mailto:antagningservice@novia.fi)  
[admissions@novia.fi](mailto:admissions@novia.fi)

Yrkeshögskolan Novia upprätthåller en publikations- och produktionsserie för att sprida information och kunskap om verksamheten såväl regionalt, nationellt som internationellt.

Publikations- och produktionsserien är indelad i sex kategorier:

R - Rapporten • P - Produktioner • A - Artiklar • L - Läromedel • S - Studerandes arbete • RS - Reseskildring

Läs våra senaste publikationer på <https://www.novia.fi/fui/novias-publikationsserie>