



INNO-CCUS

Carbon capture,
utilisation and storage

Explainer: Hvorfor satser vi på pyrolyse og biokul til de svære CO₂-reduktioner?

Pyrolyse er udpeget som en nøgleteknologi i den grønne omstilling af landbruget, da pyrolyseprocessen gør det muligt at binde kulstof i stabil form – i såkaldte biokul. Men teknologien rejser også flere spørgsmål, som har skabt tvivl om, hvorvidt det er den rigtige teknologi at satse på for at nå i mål.

Denne *explainer* giver et overblik over udviklingen af pyrolyse i Danmark og svarer på centrale spørgsmål om den reelle klimaeffekt og konsekvenser for miljøet.

Ifølge Klima- Energi- og Forsyningsministeriets "Klimastatus og -fremskrivning 2025" er landbrugssektoren den sektor, der udleder mest CO₂ frem mod 2050. Hvis vi skal lykkes med Danmarks målsætning om 110% reduktion i udledningen af drivhusgasser i 2050, kræver det nye og effektive virkemidler, der både kan nedbringe udledningerne i landbruget og samtidig fjerne CO₂ fra atmosfæren. Den Grønne Trepårt og "Aftale om et Grønt Danmark" er to centrale politiske aftaler, som tager hul på udfordringen og afsætter 10 mia. kr. til udvikling af teknologier inden for pyrolyse og biokul.

Pyrolyse er en velkendt proces, hvor organisk materiale opvarmes til høje temperaturer uden ilt for at nedbryde det til kulstofrige slutprodukter. De fleste kender det måske fra rensning af deres ovn, hvor processen anvendes til at forbrænde fedt og snavs til aske, men det kan også bruges til at omdanne biomasse (f.eks. halm) til biokul.

Vi ved fra naturens fotosyntese, at planter optager CO₂ fra luften, når de gror. Når man via pyrolyse opvarmer organisk materiale som halm, træ eller restprodukter fra landbruget, omdannes kulstoffet til en stabil form, der kaldes biokul, som kan lagres i jorden i mange år. Det gør pyrolyse af biomasse interessant, fordi teknologien binder kulstoffet i biokullet i stedet for at det under almindelig afbrænding frigives i atmosfæren som CO₂. På den måde kan biokul af restbiomasser fra landbruget både indfange og fjerne CO₂ fra atmosfæren, og når det lagres på markerne, er der tale om *en negativ emissionsteknologi*.

De kritiske spørgsmål – og svar på dem

Siden indgåelsen af de politiske aftaler er der løbende stillet vigtige spørgsmål om den reelle klimaeffekt, påvirkning af miljøet og skaleringspotentialet for pyrolyse og biokul. For at kunne debattere spørgsmålene konstruktivt og fremtidsrettet, er det vigtigt, at vi står på det samme fundament af viden om, hvor teknologierne er i dag, hvad deres potentiale er, og hvad der skal til for, at de bliver effektive midler til at reducere CO₂-udledningerne fra landbrug og potentielt andre sektorer.

Teknologiens modenhed og skala: Hvor langt er vi?

Pyrolyse og biokul er en relativt ung teknologi i Danmark, og de fleste anlæg befinder sig i pilot- eller demonstrationsfase. I 2024 indviede Stiesdal SkyClean dog verdens største fuldskala pyrolyseanlæg i Vrå i Nordjylland, som også er det første kommercielle anlæg i Danmark. Det markerer et vigtigt skift, fordi teknologien nu både testes og producerer i stor skala.

Udviklingen drives bevidst gennem kontrolleret opskalering, hvor man samler data om drift, emissioner, energiuudnyttelse og biokulkvalitet, før nye anlæg går i industriel skala. Det giver erfaring og sikkerhed for, at teknologien fungerer, samtidig med at det skaber plads til justeringer undervejs. Samtidig vokser kapaciteten hurtigt,



INNO-CCUS

Carbon capture,
utilisation and storage

fordi der både bygges modulære anlæg og større stationære enheder, som kan tilpasses lokale biomasser og energibehov.

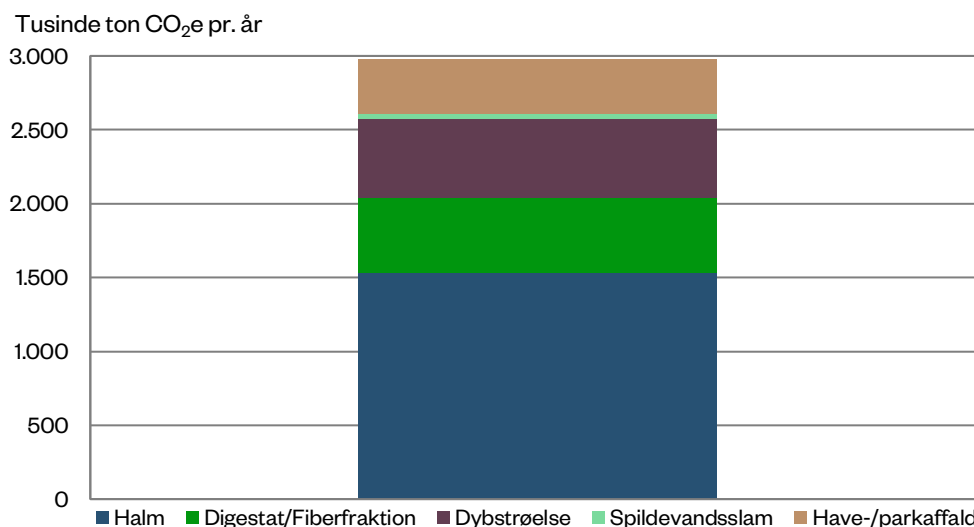
Flere danske virksomheder udvikler og producerer pyrolyseteknologi (du kan læse mere om nogle af disse sidst i dette notat), og deres løsninger bliver løbende forbedret gennem test og drift. Det betyder, at Danmark allerede har en stærk position inden for udvikling og opskalering, og at både produktionskapacitet, anlægsdesign og tekniske løsninger er i hastig udvikling. Tilsammen gør det teknologien klar til at blive udbredt i større skala, efterhånden som dokumentation og efterspørgsel følger med.

Ressourcer og mest klimaeffekt: Hvornår er pyrolyse relevant?

Biomasse er en begrænset ressource, og derfor er det afgørende, at pyrolyse bruger de rigtige typer af biomasse og ikke skaber konkurrence med andre anvendelser, som f.eks. fødevarer eller CO₂-lager i skove, der giver større samlet klima- eller samfundsværdi. I Danmark retter udviklingen sig i dag mod reststrømme som halm, gyllefibre, biogasrester og slam fra landbruget. Det er biomasse, der hurtigt nedbrydes under almindelige forhold, og som derfor ikke ville lagre kulstof i længere tid, hvis de blev liggende på marken. Ved at pyrolysere dem kan man udnytte ressourcerne bedre og undgå at trække værdifulde råstoffer væk fra materialer, foder eller andre grønne løsninger.

NIRAS har på vegne af CIP Foundation gennemført en analyse, som viser, at Danmark råder over et betydeligt potentiale af restbiomasser, der kan bruges til pyrolyse. De mængder, der vurderes til rådighed, har potentiale til at lagre op mod tre mio. tons CO₂e i biokul om året, og gør det muligt både at skalere teknologien og holde fast i princippet om, at pyrolyse ikke må fortrænge andre nødvendige eller mere klimavenlige anvendelser.

Figur 1: Kulstoflagring, som kan understøttes af tilgængelige restbiomasser



Kilde: Kortlægning af biomasser til biokul og CO₂-potentialer, NIRAS (2023)

Tidsperspektivet: Hvornår ser vi en klimaeffekt?

Det er vigtigt at vurdere klimaeffekten af biokul både på kort og på lang sigt. En del af effekten afhænger af, hvordan biomassen ville være blevet nedbrudt, hvis den ikke var blevet pyrolyseret, og hvor hurtigt nedbrydningen ville være sket i jorden. Derfor spiller biomassetypen en stor rolle. Let nedbrydelige biomasser, som halm fra landbruget, giver en hurtigere gevinst, fordi de på marken ellers ville frigive kulstof hurtigt, mens langsomt nedbrydelige biomasser kræver længere tid, før nettoeffekten bliver tydelig.



INNO-CCUS

Carbon capture,
utilisation and storage

Forskningen viser, at biokul produceret ved høje temperaturer kan lagre kulstof meget stabilt. En stor del af kulstoffet omdannes til strukturer, som nedbrydes så langsomt, at de kan blive i jorden i meget lang tid – undersøgelser viser mere end 1.000 år. Den langsigtede lagring udgør derfor en stor del af klimaeffekten. Der er samtidig også en tidlig effekt, fordi pyrolysen fastholder en del af det kulstof, som ellers ville være blevet frigivet hurtigt, særligt fra biomasser med lav holdbarhed.

Der forskes intensivt både i Danmark og internationalt i at forstå biokuls kvalitet og lagringspotentiale og i at udvikle fælles kriterier for at beregne klimaeffekten. Det skal sikre en mere ensartet og robust vurdering, som kan bruges, når teknologien skal skaleres i praksis.

Miljø og sundhed: Har det konsekvenser for andet end klimaet?

Det er vigtigt at være opmærksom på, hvilke stoffer biokul indeholder, og hvordan kvaliteten sikres, når det skal bruges i landbruget. Bekymringen handler især om, at nogle restbiomasser kan indeholde stoffer, som man ikke ønsker i jorden, og at pyrolyseprocessen under forkerte forhold kan danne nye organiske forbindelser, der kan være uønskede i for høje mængder. Derfor er kvaliteten af biokul tæt knyttet til den måde, det bliver produceret på.

Ifølge CIP Foundation viser nye forsøg og analyser, at processtyring og temperatur har stor betydning for kvaliteten. Når pyrolysen foregår ved høje temperaturer, nedbrydes langt de fleste organiske forbindelser, der kan være problematiske. Samtidig bindes nogle tungmetaller i biokullets struktur, hvor de forbliver stabile og dermed udgør en mindre risiko. Kvaliteten påvirkes også af askeindhold og mineraler i biomassen, og derfor må biokullets kvalitet altid undersøges, før det bruges.

For at skabe tydelighed og fælles standarder arbejder Miljøstyrelsen og Landbrugsstyrelsen på danske grænseværdier og testkrav for biokul. Formålet er at sikre, at biokul har en dokumenteret kvalitet, inden det bringes ud på markerne, og at alle aktører kan arbejde ud fra de samme krav.

Hvor står vi nu – og hvad kommer næste skridt til at kræve?

Arbejdet med pyrolyse og biokul i Danmark befinder sig et sted, hvor både erfaringer og ny viden begynder at tage form. Teknologien skal stadig udvikles og justeres, men udviklingen går hurtigt, og flere projekter viser, at der allerede nu skabes et mere sikkert grundlag for at bruge biokul i praksis. Der samles data, bygges nye anlæg, testes kvalitetskrav og udvikles metoder, som gør både klimaeffekten og miljøpåvirkningen mere gennemskuelig.

Fremadrettet handler indsatsen om at holde fast i det samme spor af dokumentation, samarbejde og gradvis opskalering. Når nye resultater bliver til fælles viden på tværs af forskere, myndigheder og virksomheder, styrker det både tilliden til teknologien og mulighederne for at bruge den i større skala.

På den måde kan pyrolyse og biokul blive et vigtigt supplement i klimaindsatsen, som et af flere virkemidler, der kan bidrage med både klimareduktioner og bedre udnyttelse af landbrugets ressourcer. Det er dette potentiale, den danske udvikling arbejder på at realisere.



INNO-CCUS
Carbon capture,
utilisation and storage

Cases: Danske projekter med pyrolyse og biokul

Selvom pyrolyse og biokul er en ung teknologi, er vi allerede godt i gang med udviklingen i Danmark. Med støtte fra INNO-CCUS er der i øjeblikket tre igangværende projekter, som arbejder helt konkret med at modne og styrke teknologien, så den kan blive et effektivt middel til at reducere CO₂-udledningerne fra landbrug og potentielt andre sektorer.

BIOCHSTA

BIOCHSTA arbejder på at finde ud af, hvor længe biokul kan blive liggende i jorden uden at blive nedbrudt. Projektet undersøger biokul med nogle af de samme teknikker, man bruger til at studere naturligt trækul, der har ligget i jorden i millioner af år. På den måde kan man se, hvor stabilt biokullet faktisk er, og hvor meget kulstof det kan lagre over tid.

Projektet har vist, at en stor del af kulstoffet i biokul er langtidsholdbart, og at det kan måles mere præcist, end man har kunnet før. Metoderne bliver nu brugt i arbejdet med at udvikle emissionsfaktorer for biokul i Danmark, og er netop blevet optaget som standard i EU med henblik på at blive implementeret snarest. Derfor er projektets resultater allerede på vej ud i praksis. Det gør projektet til et vigtigt bidrag i den fremtidige skalering af pyrolyseteknologien.

Projektet er et samarbejde mellem GEUS, Aarhus Universitet, DTU, flere danske pyrolysevirksomheder og Biochar Europe. Forskerne bidrager med laboratorier og målemetoder, og virksomhederne leverer biokul fra deres anlæg. Fordi projektet både bygger på forskning og erfaring fra virkelige anlæg, kan det skabe ny viden, som er direkte relevant for dem, der skal producere og bruge biokul.

Hvis du vil vide mere om BIOCHSTA, så kan du læse mere [her](#) eller kontakte projektleder Henrik Ingermann Petersen (hip@geus.dk).

BioStore

BioStore undersøger, hvordan biokul opfører sig i danske landbrugsjorde, og hvilke forhold der skal være til stede, for at biokul kan bruges uden at forringe jordens kvalitet. Projektets fokus er derfor at forstå, hvornår biokul kan bidrage til jordforbedring, og hvordan man undgår, at udbringning af biokul påvirker jorden negativt.

BioStore bidrager løbende med viden, som indgår i arbejdet med at udvikle rammer og anbefalinger for brugen af biokul. Projektets resultater er derfor vigtige, når teknologien skal bruges i større skala i Danmark.

Projektet er et samarbejde mellem Københavns Universitet, GEUS, Aalborg Universitet, Roskilde Universitet, DTU, SEGES Innovation, Stiesdal, AquaGreen og Mash Makes. Forskerne står for analyser og jordforsøg, mens virksomhederne leverer biokul og erfaringer fra deres anlæg. Sammen gør det muligt at vurdere, hvordan biokul fungerer under danske forhold.

Hvis du vil vide mere om BioStore, så kan du læse mere [her](#) eller kontakte projektleder Dorette Müller-Stöver (dsst@plen.ku.dk).

CHARBUILD

Charbuild udforsker, hvordan biokul kan indgå i byggematerialer som letbeton og træplader uden at gå på kompromis med materialeegenskaber som styrke, holdbarhed og brandsikkerhed. Projektet undersøger forskellige typer biokul og produktionstilstande for at finde den bedste kombination af bæredygtighed og ydeevne.

Projektet leverer løbende resultater, som kan danne grundlag for storskala anvendelse af biokul i byggeriet, og dermed understøtte både CO₂-reduktion og cirkulær ressourceanvendelse.



INNO-CCUS

Carbon capture,
utilisation and storage

Projektet gennemføres af blandt andre Teknologisk Institut, Stiesdal SkyClean, Kronospan og Leth Beton, der sammen trækker på viden om pyrolyse, byggematerialer og laboratorietests. Kombinationen af forskningsinstitutioner og virksomheder gør det muligt at omsætte innovation til praksis i byggebranchen.

Hvis du vil vide mere om CHARBUILD, så kan du læse mere [her](#) eller kontakte Søren Lundsted Poulsen (slp@teknologisk.dk).

SIMPLY

SIMPLY arbejder med at bane vejen for udbredelse af biomasse-pyrolyse i Danmark ved at undersøge, hvad der skal til for, at teknologien kan skaleres, dokumenteres og bruges bredt både i praksis og i klimaregnskaber. Projektet kortlægger ressourcer, værdikæder og markedspotentiale, analyserer barrierer og drivkræfter, og vurderer klima- og miljøeffekter ved pyrolyse. Samtidig arbejder SIMPLY på at matche teknisk virkning med metoder til klimaeffekt-vurdering, regulering og incitamenter for aktørerne.

Projektet skal levere analyser, anbefalinger og redskaber, som gør det muligt at implementere pyrolyse i stor skala under realistiske økonomiske, miljømæssige og samfundsmæssige betingelser. Derefter vil erfaringerne være klar til at understøtte en bred udrulning af pyrolyseteknologi i Danmark

Projektet ledes af Roskilde Universitet og gennemføres i samarbejde med aktører som Stiesdal SkyClean, CLEAN, Ringkøbing-Skjern Kommune og Region Midt. Derudover deltager en række private og offentlige organisationer i en følgenetværksgruppe, som sikrer, at projektets resultater reaches både politisk, industrielt og praktisk.

Hvis du vil vide mere om SIMPLY så kan du læse mere [her](#) eller kontakte Tobias Pape Thomsen (tpapet@ruc.dk).

Læs mere om de øvrige projekter i vores publikation *State of CCUS*, som giver det fulde overblik hele det danske innovationsfelt inden for CO₂-fangst, -udnyttelse og -lagring (CCUS). Her kan man læse meget mere om de i alt ti igangværende projekter inden for pyrolyse og biokul i Danmark.

**INNO-CCUS**Carbon capture,
utilisation and storage

Vil du vide mere?

Denne *explainer* har samlet information fra rapporter udarbejdet af CIP Foundation og NIRAS. Læs mere om pyrolyse og biokul i CIP Foundation's rapport "[Vejen til effektiv CO₂-lagring med biokul](#)" (2024) og NIRAS' rapport "[Kortlægning af biomasser til biokul og CO₂-potentialer](#)" (2023).

Hvis du har spørgsmål eller brug for en kommentar, kan du kontakte:

Karina M. Søgaard

Direktør

INNO-CCUS

+45 93 51 03 01

kamam@inno-ccus.dtu.dk

inno-ccus.dk

Om INNO-CCUS

INNO-CCUS er et dansk, missionsdrevet partnerskab, som siden 2022 har arbejdet for at fremme teknologier til CO₂-fangst, -anvendelse og -lagring (CCUS). Partnerskabet samler over 80 aktører fra både industri, universiteter og offentlige institutioner med det fælles mål at accelerere den grønne omstilling og bidrage til, at Danmark når sine klimamål.

INNO-CCUS er ét af fire strategiske partnerskaber, der skal udvikle løsninger på centrale klimaudfordringer. Med en samlet bevilling på 350 millioner kroner, finansieret af Innovationsfonden og NextGenerationEU, fokuserer INNO-CCUS på at modne og skalere CCUS-teknologier, der er afgørende for at opnå både klimaneutralitet og klimapositive effekter i Danmark.

Partnerskabet understøtter forsknings- og innovationsprojekter, der dækker hele CCUS-værdikæden og er indtelt i fem tematiske spor:

- Kemisk CO₂-fangst
- Biologisk CO₂-fangst og -lagring
- Geologisk CO₂-lagring
- CO₂-anvendelse
- Samfund og systemanalyse