

Notat

SEGES Innovation
Planter & Miljø

Pyrolyseteknologier i Danmark	Ansvarlig	rlye
	Oprettet	15-01-2026
	Side	1 af 6

Projekt: 104201, Mere biokul til landbrugsjord

Pyrolyseteknologier i Danmark

Den danske pyrolysebranche er i hastig udvikling, og efterhånden mange teknologileverandører arbejder på at klargøre deres pyrolyseteknologi til kommercielle vilkår. Størstedelen af de eksisterende pyrolyseanlæg i Danmark er endnu pilotanlæg, men flere kommercielle anlæg nærmer sig en kontinuert drift, og dermed produktion af biokul til lagring i dansk landbrugsjord. Der forventes opført et stigende antal kommercielle pyrolyseanlæg i Danmark efter ny regulering og støtteordning til lagring af biokul i landbrugsjord forventeligt træder i kraft fra 2027.

Dette notat beskriver de overordnede forskelle mellem pyrolyseteknologier repræsenteret ved danske pyrolysevirksomheder, og forsøger at give et indblik i eventuelle forskelle i egenskaberne af det biokul som produceres ved forskellige procesforhold/teknologier.

Hvad er pyrolyse?

Pyrolyse er termisk nedbrydning, der adskiller sig fra almindelig forbrænding ved, at der ikke er ilt til stede. Det betyder, at en større andel af kulstoffet bevares og stabiliseret i kulfraktionen (biokul). I en dansk kontekst foregår pyrolyse i højteknologiske anlæg, hvor biomasse udsættes for høje temperaturer i en reaktor i et bestemt tidsinterval, hvor den pyrolyserede biomasse nedbrydes til to fraktioner; en gasfraktion, kaldet syngas, hvor dele heraf kan kondenseres til bioolie, og en kulfraktion, det såkaldte biokul, som består af kulstof og aske.

Typer af pyrolyse

Der findes forskellige typer af pyrolyse, som ofte inddeles i nogle overordnede kategorier, med udgangspunkt i procesforhold. Inddelingen har særligt fokus på opvarmningshastighed, den temperatur som biomassen udsættes for og biomassens opholdstid i reaktoren. Men andre procesforhold, såsom tryk, varmepåvirkning og efterbehandling kan også variere mellem forskellige pyrolyseteknologier.

Pyrolyse inddeles ofte i følgende undergrupper:

- Slow pyrolyse
- Fast pyrolyse
- Flash pyrolyse

I nogle sammenhænge indgår 'flash pyrolyse' under kategorien 'fast pyrolyse'.

Tabel 1: Pyrolysetyper og parametre (Pahnila et al., 2023)

Pyrolysetype	Opvarmnings-hastighed (°C/s)	Max. temperatur (°C)	Opholdstid
Slow pyrolyse	0,1-1	300-700	Minutter til timer
Fast pyrolyse	10-200	400-800	Under 5 sekunder
Flash pyrolyse	>1000	800-1000	Under 0,5 sekunder

Slow pyrolyse er den mest traditionelle form for pyrolyse, og den pyrolysetype som giver det største udbytte af biokul, sammenlignet med de hurtige pyrolysemetoder (fast og flash), hvor der er mere fokus på produktion af bioolie og syngas.

En anden lignende teknologi kaldet forgasning (gasification på engelsk) nævnes også ofte i forlængelse af pyrolyse. Ved forgasning tilsættes en smule ilt, samtidig med at temperaturen er en del højere på mellem 800°C og 1200°C. Det bidrager til et større gasudbytte sammenlignet med pyrolyse.

Miljøstyrelsens (s.d.) definition af pyrolyse er *"en varmebehandlingsproces, hvor et materiale opvarmes til mellem 300°C og 700°C uden tilførsel af ilt..."*, hvorfor forgasning og pyrolyse ifølge Miljøstyrelsen falder under to forskellige kategorier, som for nuværende har forskellige regulatoriske krav.

Pyrolyseteknologier i Danmark

Størstedelen af de danske pyrolyseteknologier er udsprunget fra DTU Risø. Varierende fokus på inputmaterialer og udbytte ved processen hos teknologiudviklerne/leverandørerne betyder dog, at forskellige pyrolysetyper og -forhold er repræsenteret i de pyrolyseteknologier som findes i Danmark. SEGES Innovation har for nuværende kendskab til fem pyrolysevirksomheder, der har eller forventer at bygge anlæg i Danmark, som kan producere biokul til kulstoflagring i dansk landbrugsjord. Virksomhederne er listet her:

- Stiesdal SkyClean
- Frichs Pyrolysis
- AquaGreen
- Organic Fuel Technology
- Fruedal Pyrolyse

Foruden disse er der ligeledes kendskab til to yderligere pyrolysevirksomheder, som er dansk funderet, men som for nuværende kun opererer i udlandet:

- Mash Makes
- Tergy Sagava

Da biokulprodukter fra de to producenter endnu ikke har anlæg i Danmark, er disse virksomheders teknologi ikke beskrevet i dette notat.

Stiesdal SkyClean

Teknologien

Stiesdal SkyCleans pyrolyseteknologi er udviklet til håndtering af pelleteret biomasse. Det betyder også, at der i deres teknologi sker en forbehandling af biomassen i form af tørring og pelletering, før det føres ind i pyrolysereaktoren, hvor temperaturen når op på 650°C. Teknologien er baseret på et 'up-draft fixed-bed' design, hvor opholdstiden i reaktoren er lang (minutter), hvorfor teknologien umiddelbart vil falde under kategorien 'slow pyrolyse'. Som udgangspunkt kan mange forskellige pelleterede biomassetyper anvendes i SkyClean teknologien, men det primære fokus er for nuværende på synergien med biogas-anlæg, og dermed anvendelse af biogasrestfibre.

Anlæg og mængder

Stiesdals SkyCleans teknologi er blevet videreudviklet og tilpasset i flere opskaleringsprojekter. Stiesdal har derfor flere demonstrationsanlæg. To demonstrationsanlæg med en kapacitet på 200kw på hhv. DTU Risø og i Brædstrup. Derudover har Stiesdal også et større 2MW demonstrationsanlæg ved Greenlab i Skive. Dette anlæg har i de første par år lavet pyrolyse på halmpiller.

I 2024 indviede de deres første kommercielle anlæg med en kapacitet på 20MW i Vrå. Anlægget er bygget ved biogasvirksomheden Agri Energi, og er tilpasset til at kunne udnytte restfibre fra biogasanlægget til pyrolysen og produktion af energiprodukter og biokul. Anlægget har en årlig kapacitet på 40.000 tons biomasse, hvilket kan producere 14.000 tons biokul om året.

Frichs Pyrolysis

Teknologien

Pyrolyseteknologien udviklet af Frichs pyrolyse er en flashpyrolyse med gasrensning. Som beskrevet i ovenstående afsnit, er flash pyrolyse kendetegnet ved meget hurtig opvarmning til meget høje temperaturer, hvormed der opnås en stor udvinding af gas og mindre produktion af biokul. I Frichs Pyrolysis' teknologi, tørres biomassen ned til 10-12% vand og neddeles til mindre fragmenter, før det føres ind pyrolysereaktoren, hvor det behandles ved ca. 800°C. Selve pyrolysen i reaktoren foregår på ca. ét sekund, hvor biomassen omdannes til gas og biokul. Biomassen har dermed en meget kort opholdstid i reaktoren. Den høje gasudvinding, bidrager til et større energioverskud, ved denne pyrolyseteknologi. Grundet neddeling af biomassen forud for pyrolyse ved brug af denne teknologi, er den producerede biokul på pulverform.

Anlæg og mængder

Frichs Pyrolysis er i 2025 i gang med at etablere to nye kommercielle pyrolyseanlæg. Det ene anlæg, som består af to reaktorer, er placeret i forbindelse med Vrejlev Biogas, og forventes at kunne håndtere 30 tons biomasse pr. dag, svarende til et årligt biomasseforbrug på 9.900 tons biomasse. Det andet anlæg er placeret ved ægproducenten Springkilde, og har en forventet kapacitet på 15 tons biomasse pr. dag, svarende til et årligt biomasseforbrug på knap 5.000 tons biomasse. Begge anlæg kommer til at lave pyrolyse på biogasrestfibre.

AquaGreen

Teknologien

AquaGreens pyrolyseteknologi, kaldet HECLA®, er specialiseret til håndtering af spildevandsslam. Før biomassen føres ind i pyrolysereaktoren damptørres det ved 200°C. AquaGreens pyrolyseteknologi er

såkaldt 'slow' pyrolyse, hvor biomassen opvarmes ved 650°C. Biomassen føres gennem pyrolysereaktoren med en snegl, hvori det har en opholdstid på 20 minutter. Biokullet fra AquaGreens anlæg produceret fra kommunalt spildevandsslam har en granulær form.

Anlæg og mængder

AquaGreen har i 2025 tre 0,5MW anlæg i drift i Danmark, anlagt i forbindelse med kommunal spildevandshåndtering. Disse anlæg håndterer hver ca. 1000 tons biomasse årligt med produktion af 500 tons biokul. Desuden er AquaGreen i gang med at etablere ét 0,8 MW anlæg.

Organic Fuel Technology

Teknologien

Teknologien fra Organic Fuel Technology adskiller sig en del fra de resterende pyrolyseteknologier, som findes i Danmark. Deres patenterede teknologi laver en såkaldt 'mikrobølge-baseret pyrolyse', som benytter sig af 'single-mode' mikrobølger, der skaber et kontrolleret elektromagnetisk felt, som nedbryder biomassen til biokul, gas og olie. I mikrobølgereaktoren opnås en pyrolysetemperatur på 350°C, hvilket er væsentlig lavere end for de resterende pyrolyseteknologier. Ved mikrobølgepyrolyse opvarmes materialet indefra, i modsætning til almindelig pyrolyse, hvor biomassen varmpåvirkes udefra. Det kan betyde, at opvarmningsprocessen er mere effektiv, og at der formegentlig kan produceres biokul af høj kvalitet trods lave temperaturer. Dette er dog noget OFT skal undersøge nærmere i et projekt med Aarhus Universitet i de kommende år. For nuværende har OFT fokus på pyrolyse af spildevandsslam.

Anlæg og mængder

Organic Fuel Technology har i slutningen af 2025 igangsat opførelsen af deres første fuldskala 72 kW OFT8 demonstrationsanlæg ved Greenlab i Skive, som forventes at være i drift en gang i 2027. Anlægget forventes at kunne behandle 400kg biomasse (tørstof) pr. time, og dermed op imod 9 tons i døgnet.

Fruedal Pyrolyse

Teknologien

Fruedal Pyrolyse er i 2025 startet som pyrolyseleverandør, der importerer tyske Carbo-FORCE pyrolyseanlæg, som benytter det de kalder CF-250-teknologi. I reaktoren føres biomassen ind med en snegl, hvor det varmes op til 650-850°C. Opholdstiden for biomassen i reaktoren er derfor lang, og teknologien er derfor en langsom pyrolyse. Anlæggene består af moduler i containere, som sættes sammen.

Anlæg og mængder

Fruedal Pyrolyse indvier primo 2026 deres første Carbo-FORCE anlæg i Danmark. Anlægget har en årlig kapacitet på 5.000 tons, som dermed producerer ca. 1.000 tons biokul om året.

Pyrolyseprocesforhold indflydelse på biokuls fysiske- og kemiske egenskaber

Biokul er en paraplyterm for kulprodukter fra pyrolyse, der med udgangspunkt i biomasseinput og den anvendte pyrolyseteknologi dækker over biokulprodukter, som kan variere markant i fysisk og kemisk sammensætning.

Den faktor som har størst indflydelse på biokullets sammensætning og egenskaber er biomassen/udgangsmaterialet, hvorfra biokul dannes ved pyrolyse. Det konkluderede et metastudie af Ippolito et al. (2020) baseret på 5400 artikler og 50.000 datapunkter, som undersøgte input biomasse, pyrolysetemperatur og pyrolysetypes indflydelse på biokullets karakteristika. I studiet fandt man desuden ud af følgende om sammenhængen mellem biokullets egenskaber og pyrolysetype og -temperatur:

- Opholdstiden i reaktoren har mindre betydning for biokullets egenskaber.
- Biokullets kulstofstabilitet og overfladeareal blev større/højere med stigende pyrolysetemperatur.

- Hurtig pyrolyse (Flash og Fast pyrolysis) resulterer typisk i højere overfladeareal og lavere gennemsnitlig partikelstørrelse.
- Langsom pyrolyse (Slow pyrolysis) resulterer i højere kalkningspotentiale (CCE – Calcium carbonate equivalent). Det samme for stigende pyrolysetemperatur, som skyldes stigende askeindhold i biokullet.
- Ingen forskel i kation- og anion adsorptionskapacitet i biokul på tværs af pyrolysetyper og temperatur.
- Pyrolysetype og -temperatur har betydning for opkoncentrering af næringsstoffer i biokullet, hvor biomasseinput har størst indflydelse på indhold af næringsstoffer i biokullet.

Med udgangspunkt i denne viden, forventes forskellene i dansk producerede biokulprodukter at være størst mellem de biokulprodukter, som produceres af forskellige biomassetyper. I tilfælde, hvor der er tale om blandingsbiomasse, eks. biogasrestfibre, vil der dog også kunne være bemærkelsesværdige forskelle indenfor samme biomasse-kategori.

I tilfælde som med biogasrestfibre og spildevandsslam, findes der også eksempler på, at forskel i procedurer på hhv. biogasanlæg og rensningsanlæg (eks. udfældningsteknik), kan have betydning for bl.a. tilgængelighed af fosfor i biokullet. Undersøgelser af fosfortilgængeligheden ved Aarhus og Københavns universitet har også vist, at partikelstørrelsen af biokul fra biogasrestfibre kan have indflydelse på fosfortilgængeligheden, hvor mindre partikler resulterer i højere P-tilgængelighed (Pedersen et al., 2025).

Størstedelen af de danske pyrolyseanlæg anvender relativt høje temperaturer 650-800°C, hvormed der ikke forventes de store forskelle i biokullet fra disse anlæg på baggrund af temperatur. Dog anvender Organic Fuel Technology i sammenligning med de resterende teknologier en lav temperatur på 350°C, som ifølge litteraturen, ofte bevirker bl.a. lavere kulstofstabilitet og højere næringsstoffilgængelighed. Betydningen af mikrobølge teknologi sammenlignet med de mere gængse pyrolysemetoder for biokullets egenskaber er dog endnu sparsomt belyst.

Referencer

Actanol Energie (s.d.). Produktion von Wärme in der Carbo-FORCE Anlage. <https://actanol-energie.de/energiegewinnung/>

AquaGreen (s.d.). Sustainable biomass treatment. <https://aquagreen.dk/technology/>

Flatau, L. (2025). Verdens første fuldskala mikrobølgeanlæg til grønt brændstof skyder op i GreenLab. Energy Cluster Denmark. <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/14700926/verdens-forste-fuldskala-mikrobølge-anlaeg-til-gront-braendstof-skyder-op-i-greenlab?publisherId=13562485&lang=da>

Frichs Pyrolysis (s.d.). Beskrivelse – proces – fra mark/stald/skov/industri til CCUS og energi. <https://frichs-pyrolysis.com/>

Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., ... & Borchard, N. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. *Biochar*, 2(4), 421-438.

Kurian, V., Gill, M., Dhakal, B., & Kumar, A. (2022). Recent trends in the pyrolysis and gasification of lignocellulosic biomass. In *Biofuels and Bioenergy* (pp. 511-552). Elsevier.

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2024). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003297673>

Miljøstyrelsen (s.d.). Spørgsmål og svar om pyrolyse. mst.dk. <https://mst.dk/erhverv/groen-produktion-og-affald/industri/miljoegodkendelse-af-listevirksomheder/spoergsmaal-og-svar-om-pyrolyse>

Nielsen, J.O. (2025). Nyt pyrolyseselskab forventer overskud og flere nye anlæg i 2026. Agriwatch.dk. https://agriwatch.dk/Nyheder/Industrien/article18810835.ece?utm_campaign=AgriWatch%20Mid-dag&utm_content=2025-12-08&utm_medium=email&utm_source=agriwatch

Organic Fuel Technology (2023). New research grant for optimizing OFT's technology. <https://www.organicfueltechnology.com/oft-and-aarhus-university-receives-34-million-dkk-grant-from-innovationsfonden/>

Pahnila, M., Koskela, A., Sulasalmi, P., & Fabritius, T. (2023). A review of pyrolysis technologies and the effect of process parameters on biocarbon properties. *Energies*, 16(19), 6936.

Pedersen, I. F., Müller-Stöver, D. S., Lemming, C., & Gunnarsen, K. C. (2025). Particle size determines the short-term phosphorus availability in biochar produced from digestate solids. *Waste Management*, 191, 172-181.

Stiesdal SkyClean (2023). Carbon capture and bioenergy. <https://www.stiesdal.com/wp-content/uploads/2023/04/32514-Stiesdal-SkyClean-brochure.pdf>

Thomsen, T. (2022). Introduction to Production and Use of Biochar 2022: working towards a more circular and bio-based Danish economy. Roskilde Universitet.