

## Beregninger af klimaeffekten fra pyrolyse og biokul

I 'Aftale om et Grønt Danmark' fra den grønne trepart forventes, at der kan generes negative udledninger på op mod 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub>e i biokul fra pyrolyse i 2030 som led i indførelsen af en drivhusgasafgift for landbruget. Aftalen synes at antage, at de 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> lagret i biokul umiddelbart kan erstatte en reduktion af landbrugets drivhusgasudledninger af samme størrelse.

Som omtalt i afrapporteringen fra ekspertgruppen for en grøn skattereform, er pyrolyse baseret på biomasse, som også danner et kulstoflager, hvis den efterlades på marken. Netto-effekten af biokul på jordens kulstoflager skal derfor beregnes som lageret af biokul minus det mistede, naturlige kulstoflager fra den anvendte biomasse.

Rådet for Grøn Omstilling (RGO) har nedenfor beregnet klimaeffekter ved produktion og lagring af 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub>e i biokul ved pyrolysning af tre forskellige typer biomasse: Halm, afgasset biomasse (biogas-digestat, også kaldet gyllefibre) og træ. Netto-effekterne er beregnet som mængden af produceret biokul minus det mistede, naturlige kulstoflager fra den anvendte biomasse.

## Konklusioner

Beregningerne viser, at der kan gå mange år, før pyrolyse får en positiv klimaeffekt: Ved pyrolyse af træ kan der gå 30 år og bruges der afgasset biomasse fra biogasanlæg kan netto-effekten være negativ i over 40 år. Kun pyrolyse af halm viser positiv netto-lagring efter få år. Desuden er netto-effekten i forhold til atmosfæren vedvarende lavere end mængden af lagret CO<sub>2</sub> i biokul – og i væsentligt omfang, hvis der anvendes træ eller afgasset biomasse i pyrolyseprocessen.

Aftalen om afgifter på landbrugets drivhusgasudledninger bør som konsekvens baseres på, at 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> i biokul kun kan erstatte en væsentlig mindre reduktion i landbrugets udledninger af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter i 2030.

Rådet for Grøn Omstilling er enig i, at det kan være nødvendigt at udvikle og afprøve nye teknologier, som kan trække CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren - herunder også pyrolyse. Men inden sådanne teknologier udbredes i stor skala, må der opbygges nødvendig viden om netto-effekterne i forhold til klimaet. For pyrolyse mangler desuden viden om, hvilke biomasser det ud fra miljø-, ressource- og klimamæssige hensyn giver mening at pyrolysere.

## Baggrund

Når biomasse pyrolyseres, vil det kun være omkring 37-50 procent af kulstoffet i biomassen, der ender i biokullet. Resten af kulstoffet ender enten i pyrolyseolie og -gas eller anvendes i selve pyrolyseprocessen. Biokul anses for stabilt og vil kun langsomt blive omdannet til CO<sub>2</sub> igen ved udbringning på marker. Hvis biomassen alternativt anbringes på marken eller efterlades i skove, vil der også ske en kulstoflagring, men rå biomasse nedbrydes væsentligt hurtigere til CO<sub>2</sub> end biokul.

Klimaeffekten af pyrolyse afhænger også i stor grad af, i hvilket omfang man medregner fortrængning af fossil gas og olie ved brug af pyrolyse-olie og -gas. Ekspertgruppen bag grøn skattereform har taget udgangspunkt i, at pyrolyseolien vil blive anvendt i søfarten, der ligger uden for 70 pct.-målsætningen, og at gassen og overskudsvarmen erstatter anden vedvarende energiproduktion. Nedenfor er derfor lagt til grund, at brug af pyrolyseolie-, gas og overskudsvarme ikke medfører CO<sub>2</sub>-reduktioner i den nationale emissionsopgørelse.<sup>ii</sup>

Umiddelbart kan der være tekniske og miljømæssige udfordringer ved at bruge pyrolyseolie som brændstof i skibe. Det er på nuværende tidspunkt uklart, om det giver mening at anvende pyrolyseolie, set i lyset af den omfattende behandling, der vil være nødvendig for at gøre det brugbart som transportbrændstof. Brug af pyrolyseolie bør derfor kun foregå, hvis det kan ske på miljømæssig

forsvarlig vis. RGO har dog foretaget følsomhedsberegninger, hvor pyrolyse-olie og -gas fortrænger fossile brændsler.

Pyrolysning af især afgasset biomasse kan også have andre gavnlige klimaeffekter – f.eks. mindre metan- og lattergas-dannelse ved lagring af den afgassede biomasse.<sup>iii iv</sup> Svarer udvalget medregner tilsyneladende ikke disse sideeffekter. Desuden er effekterne usikre og udledningerne vil formentlig være omfattet af loftet over metan-udslip fra biogasanlæg eller den fremtidige drivhusgasafgift for landbruget. Disse reguleringer vil i givet fald reducere de pågældende udledninger, uanset om det sker ved pyrolyse eller ej. Derfor medtages øvrige klimaeffekter heller ikke i beregningerne.

Netto-effekten ved pyrolyse af biomasse beregnes følgelig ved at sammenligne:

- 1) Det akkumulerede CO<sub>2</sub>-lager af biokul på marker ved tilførsel af en fast mængde på 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> per år i 100 år - dog med lineær indfasning de første 5 år.
- 2) Det akkumulerede CO<sub>2</sub>-lager af de rå biomasser anvendt til pyrolysning over en periode på 100 år, hvis de alternativt anbringes på marker eller efterlades i skove.

## Grundantagelser og data

Beregningerne tager udgangspunkt i to kilder:

Energistyrelsens teknologikatalog: Antagelser om pyrolyseprocessens konvertering af halm og afgasset biomasse til biokul, pyrolyseolie og -gas er hentet fra Energistyrelsens Teknologikatalog.<sup>v</sup> Teknologikataloget angiver, at mellem 37% og 50 % af biomassens kulstofindhold overføres til biokullet. Teknologikataloget anvendes traditionelt som et gennemarbejdet og neutralt vidensgrundlag, som lægges til grund i de fleste analyser på energiområdet.

DCA-publikationer: Data for frigivelse af CO<sub>2</sub>-indholdet i hhv. biokul, halm og afgasset biomasse til atmosfæren over tid, når det anbringes på marker, kan sammenfattes i såkaldte nedbrydningskurver. De senest offentliggjorte nedbrydningsstal for de nævnte biomasse-typer under danske forhold er udarbejdet af DCA ved Århus Universitet i 2024 (herefter DCA 2024).<sup>vi</sup> RGOs beregninger er dog baseret på et tidligere notat fra samme institut fra 2022, hvor der foreligger nedbrydningskurver år for år i 100 år og tallene for biokul og afgasset biomasse stort set ens (herefter DCA 2022).<sup>vii</sup> Opdateringen fra 2024 opererer med lidt hurtigere nedbrydning af halm. DCA har dog ikke lavet en ny nedbrydningskurve for halm år for år, og i mangel heraf bruges 2022 tallene - med forbehold for at halmen nedbrydes hurtigere.

RGO har beregnet CO<sub>2</sub>-frigivelsen over tid ved naturlig forrådnelse af træ-affald som en eksponentiel nedbrydning som anvist af IPCC. Konkret tages der udgangspunkt i det træ-miks, der anvendes af danske varme- og kraftvarmeværker.<sup>viii</sup> Desuden antages samme biokul udbytte som Teknologikataloget gør for halm. Disse antagelser må anses for mere usikre end dem benyttet for de andre rå biomasser.

Både antagelser om konverteringseffektivitet i pyrolyseprocesser samt alle data for CO<sub>2</sub>-frigivelse er imidlertid behæftet med betydelige usikkerheder, fordi der er meget begrænsede erfaringer med og empirisk forskning om produktion af biokul og henfald af denne og de anvendte biomasser over mange år. For afgasset biomasse foreligger der således en anden, ret forskellig nedbrydningskurve fra DCA på Århus Universitet fra 2022 i en videnssyntese for biokul (herefter DCA Videnssyntese).<sup>ix</sup> En dansk producent af pyrolyseanlæg har opnået overførsel på op mod 50% af kulstofindholdet i afgasset biomasse til biokul.<sup>x</sup> En PhD studerende på RUC har set på internationale studier i SIMPLY-projektet, som kommer frem til lignende resultater både for nedbrydningskurver og overførsel af kulstof til

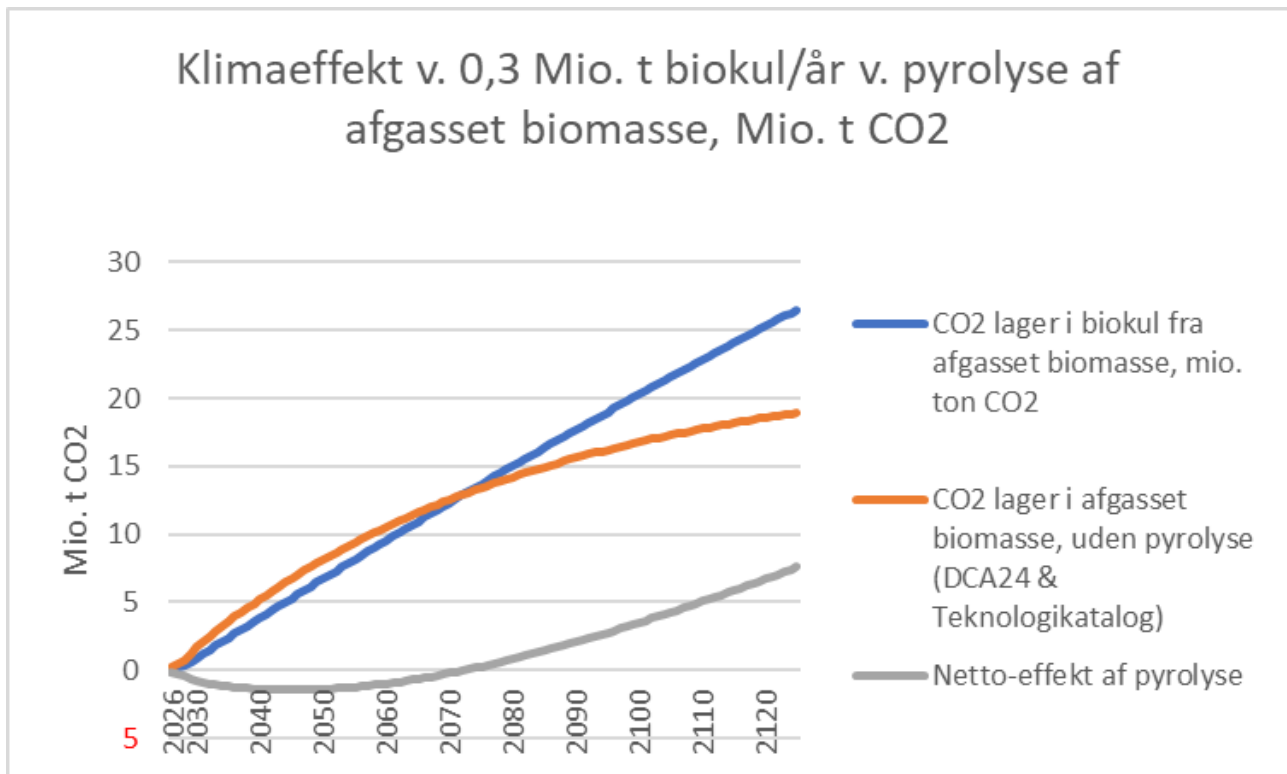
biokullet.<sup>xi</sup> Nedenfor præsenteres derfor følsomhedsberegninger for effekterne af pyrolyse på afgasset biomasse med disse, alternative forudsætninger.

Endelig kan antagelsen om, at pyrolyse-olie og -gas ikke fortrænger fossile brændsler som nævnt diskuteres, men det er ikke belyst nedenfor.

### **Biokul på afgasset biomasse fra biogasanlæg (biogas digestat)**

- Vi sammenligner de akkumulerede kulstoflagre i hhv. afgasset biomasse eller biokul baseret på pyrolysning af biomasse ved en årlig produktion af biokul svarende til 0,3 mio. t CO<sub>2</sub>.
- I første omgang anvendes antagelserne om biokul udbytte fra Teknologikataloget samt de seneste nedbrydningskurver for biokul hhv. afgasset biomasse fra DCA.
- Vi regner med en lineær opskalering af pyrolyseprocesserne over 5 år til i alt 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> i biokul per år jf. Svarrer udvalgets rapport.
- Vi har ikke indregnet klima-effekter af foregående biogas-produktion, fordi formålet er at vise forskelle i kulstoflagring ved enten at udbringe afgasset biomasse eller biokul fra pyrolyse på marker.
- 0,3 Mt CO<sub>2</sub> i biokul kræver input på ca. 0,8 mio. t CO<sub>2</sub> i afgasset biomasse/år ved brug af antagelserne i Energistyrelsens Teknologikatalog. Det er således de akkumulerede CO<sub>2</sub>-lagre ved årlig tilførsel af hhv. 0,3 mio. t CO<sub>2</sub> biokul eller 0,8 mio. t CO<sub>2</sub> i afgasset biomasse over en periode på 100 år, der sammenlignes i beregningen.
- Med de nævnte forudsætninger giver pyrolysning af afgasset biomasse først en positiv nettoeffekt på kulstoflageret i jord efter godt 40 år jf. figur 1. Desuden vil netto-effekten vedvarende være væsentlig lavere end kulstofmængden i biokul.

**Figur 1 – Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af afgasset biomasse**



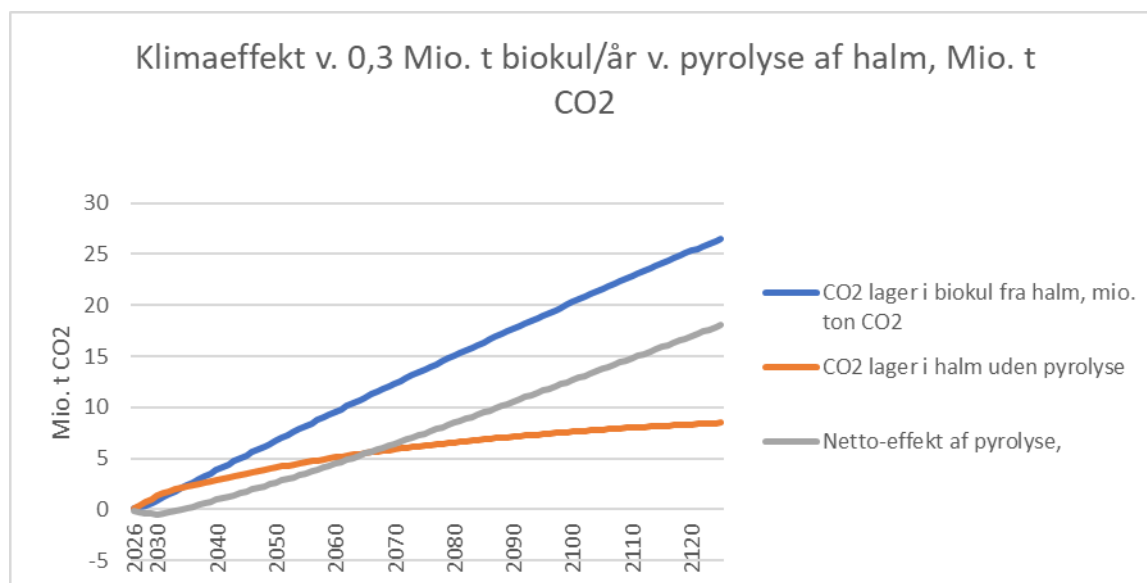
**Tabel 1 – Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af afgasset biomasse**

Lager i mark, Mio. t CO2	2030	2040	2050	2060	2070
Biokul	0,9	3,8	6,7	9,6	12,3
Afgasset biomasse	1,7	5,2	8,1	10,5	12,6
Netto-effekt pyrolyse	-0,3	-1,4	-1,4	-1	-0,2

## Biokul på halm

- Vi sammenligner de akkumulerede kulstoflagre i hhv. halm eller biokul baseret på pyrolysning af halm ved en årlig produktion af 0,3 mio. t biokul.
- Vi regner med en lineær opskalering af pyrolyseprocesserne over 5 år til i alt 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub>e per år jf. Treparts aftalen.
- 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub> i biokul kræver input på ca. 0,6 mio. t CO<sub>2</sub> i halm /år. Det er de akkumulerede CO<sub>2</sub>-lagre ved årlig tilførsel af hhv. 0,3 mio. t CO<sub>2</sub> i biokul eller 0,6 mio. t CO<sub>2</sub> i halm over en periode på 100 år, der sammenlignes i beregningen jf. figur 2.

**Figur 2 - Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af halm**



**Tabel 2 - Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af halm**

Lager i mark, Mio. t CO <sub>2</sub>	2030	2040	2050	2060	2070
Biokul	0,9	3,8	6,7	9,6	12,3
Halm	1,4	2,9	4,1	5,1	5,9
Netto-effekt pyrolyse	-0,5	0,9	2,6	4,5	6,4

Pyrolysning af halm giver en positiv kulstoflagring på marker og dermed klimaeffekt efter få år. Effekten er endda hurtigere end indikeret her, da DCA nu antager hurtigere forrådnelse af halm end i de 2022-tal, der lægges til grund i ovenstående sammenligning.

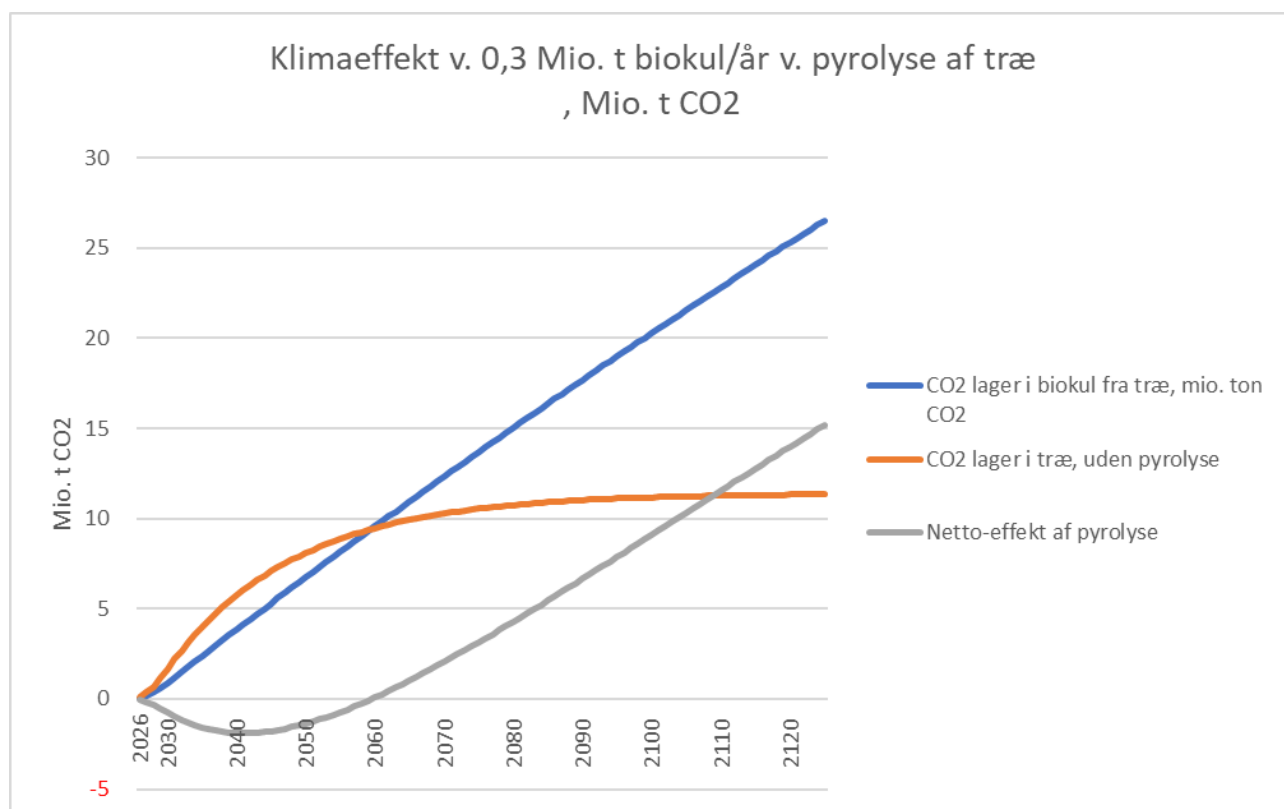
Den hurtige positive lagrings- og klimaeffekt i forhold til pyrolysning af afgasset biomasse skyldes at halm rådner og omdannes til CO<sub>2</sub> meget hurtigere end afgasset biomasse. Hvis halm i stedet for at komme i pyrolyseanlæg direkte, kommer i biogasanlæg først, vil være en positiv vandmiljøeffekt, da kvælstof i biogasprocessen bliver mere plantetilgængeligt, og derfor ikke udvaskes i lige så stor grad. Der skal altså ske en afvejning mellem hensynet til klimaet og hensyn til vandmiljø.

### Biokul fra træ

Biokul fra træ nævnes også i Treparts aftalen.

- Vi sammenligner de akkumulerede kulstoflagre ved at efterlade træ i skove eller anbringe biokul fra pyrolyse af træ på marker ved en årlig produktion på 0,3 mio. t CO<sub>2</sub> i biokul.
- Vi regner med en lineær opskalering af pyrolyseprocesserne over 5 år til i alt 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> i biokul per år jf. Svarrer udvalgets rapport.
- 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub> i biokul kræver input på ca. 0,6 mio. t CO<sub>2</sub> i træ/år. Det er de akkumulerede CO<sub>2</sub>-lagre ved årlig tilførsel af hhv. 0,3 mio. t CO<sub>2</sub> i biokul eller 0,6 mio. t CO<sub>2</sub> i træ over en periode på 100 år, der sammenlignes i beregningen jf. figur 3.

**Figur 3 - Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af træ**



**Tabel 3 – Klimaeffekt af biokul fra pyrolyse af træ**

Lager i mark el. skov, Mio. t CO <sub>2</sub>	2030	2040	2050	2060	2070
Biokul	0,9	3,8	6,7	9,6	12,3
Træ	1,7	5,7	8,1	9,5	10,3
Netto-effekt pyrolyse	-0,8	-1,9	-1,4	0,1	2,0

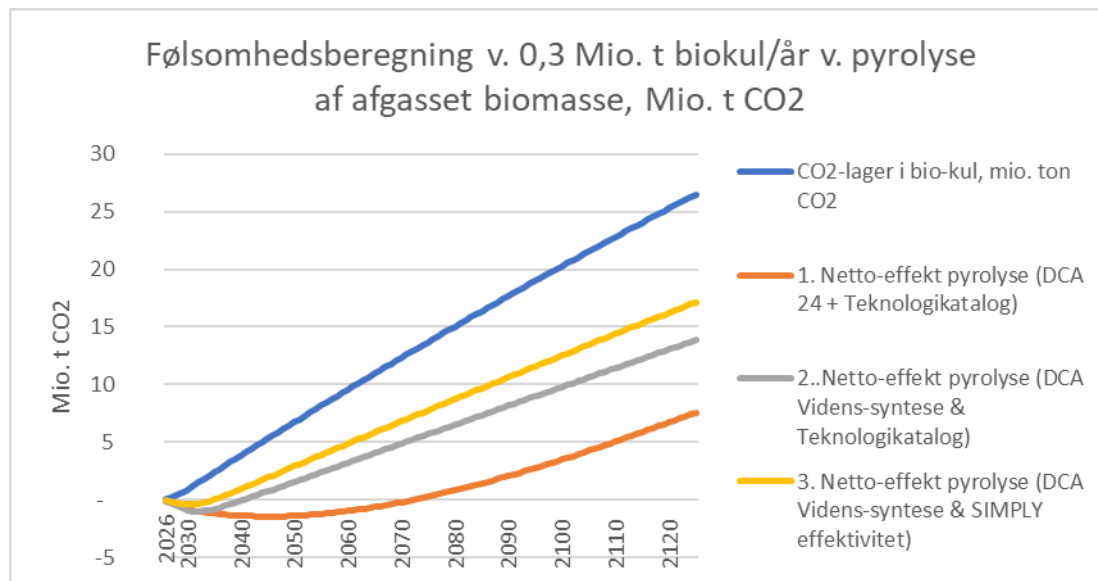
Pyrolyse af træ er væsentligt længere om at give positiv netto-lagring af CO<sub>2</sub> end ved pyrolyse af halm – omkring 30 år. Det skyldes, at træ efterladt i skove i gennemsnit er væsentligt længere tid om at rådne end halm.

Hvis der anvendes importeret træ, skal tabet af kulstoflagre i skove konteres i eksportlandets klimaregnskab, mens fordelene ved at lagre biokul på danske marker kan konteres i det danske klimaregnskab. Men det ændrer intet ved, at pyrolysning af træ først giver en positiv effekt på den globale kulstoflagring efter ca. 30 år.

### Følsomhedsberegninger for afgasset biomasse

Pga. de ovenfor anførte usikkerheder omkring grundantagelser og -data er der gennemført en usikkerhedsberegning for effekterne af pyrolysning af afgasset biomasse. Der er anvendt følgende parametre:

- Der er regnet ud fra en produktion af biokul på 0,3 mio. ton CO<sub>2</sub> fra 2030 med lineær indfasning fra 2026 til 2030.
- Nedbrydningskurven for biokul er ens i alle følsomhedsberegninger og er taget fra DCA 2024.
- Kurve 1 bruger samme forudsætninger som figur 1 ovenfor. Antagelser om biokul-udbyttet er taget fra Teknologikataloget og nedbrydningskurven for både biokul og afgasset biomasse er taget fra DCA 2024.
- Kurve 2 bruger Teknologikatalogets antagelser om biokul-udbytte og nedbrydningskurven for afgasset biomasse fra DCA Videnssynthese.
- Kurve 3 bruger antagelser om biokul-udbytte fra det såkaldte SIMPLY projekt og nedbrydningskurven for afgasset biomasse fra DCA Videnssynthese.

**Figur 4: Følsomhedsberegning for pyrolyse ved afgasset biomasse**

Som det fremgår af figur 4 afhænger netto-effekten på CO<sub>2</sub>-lageret i jord i høj grad af beregningsantagelserne. I det gunstigste tilfælde 3 går der kun 8 år inden der optræder en positiv netto-effekt. I tilfælde 2 går der 14 år og i tilfælde 1 går der som tidligere nævnt godt 40 år. I alle tilfælde er netto-effekterne af pyrolyse-processerne væsentligt mindre end den mængde CO<sub>2</sub>, der er produceret og lagret i form af biokul.



- 
- <sup>i</sup> Energistyrelsen (2024) 'Technology data - renewable fuels', Chapter 105 Slow pyrolysis, side 362.  
[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_renewable\\_fuels.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf)
- <sup>ii</sup> Ekspertgruppen for en grøn skattereform (2024) 'Grøn skattereform endelig afrapportering', side 171.  
<https://skm.dk/media/ycfileas/groen-skattereform-endelig-afrapportering.pdf>
- <sup>iii</sup> EA Energianalyse 2024: Analyse af samfundsøkonomiske effekter ved biokul
- <sup>iv</sup> Kamp, A. et al. 2023: Styrket grundlag for vurdering af klimaeffekter ved pyrolyse af tre forskellige typer af biomasse til biokul
- <sup>v</sup> Energistyrelsen (2024) 'Technology data - renewable fuels', Chapter 105 Slow pyrolysis, side 362.  
[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_renewable\\_fuels.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf)
- <sup>vi</sup> DCA 2024; Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget 2024;  
<https://pure.au.dk/portal/en/publications/virkemidler-til-reduktion-af-klimagasser-i-landbruget-2024>
- <sup>vii</sup> Jensen JL, Thers H, Elsgaard L. 2022. Afklaring om videns- og ressourcebehov ved at integrere biokul i C-TOOL modellen til brug for emissionsopgørelser.
- <sup>viii</sup> side. 38 i: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/10.\\_baggrundsnotat\\_-\\_danmarks\\_forbrug\\_af\\_faste\\_biomassebraendstoffer\\_fokus\\_paa\\_traepiller\\_og\\_traeflis.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/10._baggrundsnotat_-_danmarks_forbrug_af_faste_biomassebraendstoffer_fokus_paa_traepiller_og_traeflis.pdf)
- <sup>ix</sup> Knowledge synthesis on biochar in Danish Agriculture;  
<https://dcapub.au.dk/difpublikation/difpdf/DCArapport208.pdf>
- <sup>x</sup> Tobias Pape Thomsen, RUC; personlig kommunikation
- <sup>xi</sup> Tobias Pape Thomsen, RUC, personlig kommunikation

## Mere viden

### Nye veje for biomasse:

[rgo.dk/projekt/nye-veje-for-biomasse](http://rgo.dk/projekt/nye-veje-for-biomasse)

### Carbon farming – en vigtig brik i den grønne omstilling af landbruget?:

[rgo.dk/udgivelse/carbon-farming-en-vigtig-brik-i-den-groenne-omstilling-af-landbruget/](http://rgo.dk/udgivelse/carbon-farming-en-vigtig-brik-i-den-groenne-omstilling-af-landbruget/)

### Kontakt:

**Erik Tang**, Seniorrådgiver, klima, energi og bioressourcer

Telefon: 5362 3041

Mail: [Erik@rgo.dk](mailto:Erik@rgo.dk)

**Trine Langhede**, Rådgiver, Fødevarer og Bioressourcer

Telefon: 3318 1931

Mail: [TrineL@rgo.dk](mailto:TrineL@rgo.dk)



Rådet for Grøn Omstilling er en uafhængig non-profit miljøorganisation, der har rådgivet om den grønne omstilling i mere end tre årtier. Som en grøn løsningstank vil vi levere konkrete, realiserbare og ambitiøse løsningsforslag, der kan accelerere omstillingen til et absolut bæredygtigt samfund.

Rådet for Grøn Omstilling modtager støtte fra European Climate Foundation til vores arbejde for ambitiøse klimatiltag på fødevarer- og landbrugsområdet i Danmark og EU.