

NYE MULIGHEDER FOR LANDBRUGET MED BIOKUL OG PYROLYSE

Af Peder Nickelsen, administrerende direktør i Stiesdal SkyClean

Krigen i Ukraine og den efterfølgende europæiske energiforsyningskrise har skabt et stærkt øget fokus på biomasse som en lokalt produceret energiressource til en forudsigelig pris. Danmarks mangeårige indsats for at introducere biomasse i energiforsyningen som et led i indsatsen mod klimaforandringer er med et blevet udvidet til også at handle om at øge den nationale forsyningssikkerhed.

Truslen om knaphed på energi har på kort tid resulteret i nye, langsigtede rammevilkår for udbygning af biogasanlæg. Biogas udgør imidlertid kun starten på den "restbiomasse-værdirejse", som dikteres af samfundets krav til hastig omstilling af energiforsyningen.

Efterspørgslen på lokalt produceret, klimaneutralt energiråstof betyder, at landbruget kan stå overfor en vigtig og økonomisk interessant udviklingsperiode for et biomasse-centrisk landbrug med nye indtægtsstrømme og et forøget fokus på cirkularitet.

Det er potentielt godt nyt for den enkelte landmand, men udfordringen bliver at øge mængden af tilgængelig biomasse til energi og samtidig tilgodese de øvrige nationalt prioriterede dagsordner, der fylder godt op på to-do-listen for landbruget og

dets følgeerhverv: Sikring af fødevareforsyningen, bevarelse af eksportindtægter, forvaltning af natur og miljø og sidst, men ikke mindst reduktion af sektorens udledning af drivhusgasser – alt sammen balanceret i et både nationalt og internationalt perspektiv.

En af vejene frem mod en bæredygtig, øget adgang til biomasse er en innovativ videreudnyttelse af landbrugets restprodukter.

Pyrolyse kan accelerere økonomien i et cirkulært landbrug

Pyrolyse er en teknologi, der kan indrettes med henblik på at accelerere værdien af landbrugets restbiomasse. Ved pyrolyse kan omkring halvdelen af det kulstof, der er i biomassen, nyttiggøres i form af gasformige eller flydende brændstoffer. Den anden halvdel af kulstoffet bevares efter pyrolyse i form af biokul, som kan udspreddes på landbrugsjord.

Pyrolyse er en velkendt teknologi med et begrænset procesenergiforbrug svarende til cirka 5-7% af biomassens brændværdi. Pyrolyse kan samtidig anvendes på stort set alt organisk materiale, og teknologien er derfor et attraktivt redskab i den cirkulære økonomis værktøjskasse.

I Stiesdal SkyClean har vi i en årrække arbejdet på at videreudvikle og industrialisere

en særlig pyrolyseprocesvariant udviklet af DTU. Vi kalder vores pyrolyseteknologi for SkyClean, og vi producerer industrielle anlæg med kapacitet til at behandle 40.000 tons restbiomasse årligt med et vandindhold på 10-12%.

Målet med SkyClean er at skabe en kulstof-negativ klimateknologi til landbruget baseret på udnyttelse af restbiomasse. Kulstof-negativ teknologi vil sige teknologi, som netto fjerner CO_2 fra atmosfæren, hvilket SkyClean opnår ved sin produktion af biokul til udbringning på de landbrugsarealer, hvor biomassen stammer fra.

I naturens kulstofkredsløb passerer næsten 10 procent af jordsystemets atmosfæriske CO_2 gennem jorden hvert år drevet af fotosyntese. SkyClean retter sig mod det enorme kulstoflager-potentiale, der gemmer sig i pyrolyseret restbiomasse fra landbrug og skovbrug.

Sådan virker SkyClean-pyrolyse

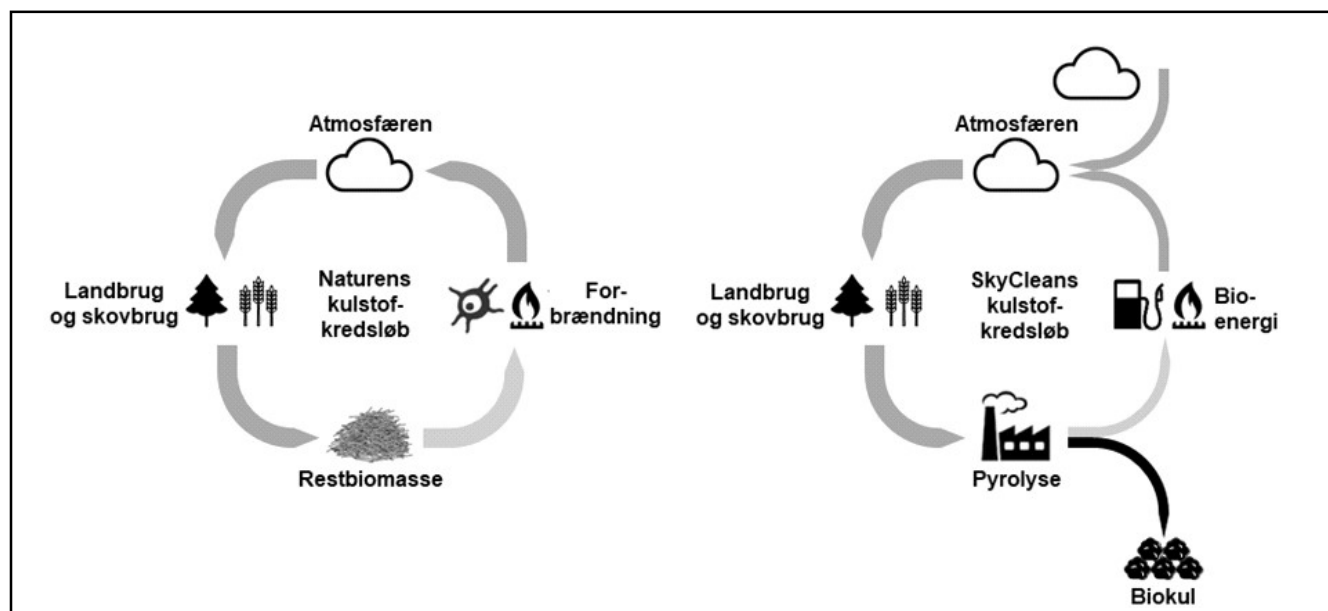
I SkyClean pyrolyseprocessen omdannes restbiomasse til biokul og gas. Det sker ved opvarmning til omkring 600°C i en særlig ovn med en iltfri atmosfære.

Tørt plantemateriale indeholder typisk ca. 50% kulstof, som planterne har hentet fra atmosfæren i form af CO_2 ved hjælp af fotosyntesen. I pyrolyseprocessen omdannes herved halvdelen af kulstoffet i affaldet til biokul, mens den anden halvdel bliver til gasformige eller flydende kulbrinter, fx olie.

Biokul er et stabilt materiale, som kun nedbrydes meget langsomt, og den halvdel af kulstoffet, der bliver til biokul, er dermed effektivt fjernet fra atmosfæren.

Gassen kan bruges som brændsel i varmesforsyningen og i industrien. En del af gassen kan kondenseres til bioolie, som kan raffineres til brændstof til transportsektoren. Både gassen og olien kan også videreforarbejdes til PtX-løsninger, f.eks. til flybrændstof.

Alle typer biologisk affald kan bruges i SkyClean-processen. Råvarerne kan være halm, dybstrøelse, gylle, restfibre fra biogas-anlæg, pressekager fra produktion af græsprotein og enhver anden type organisk affald fra landbruget. De kan også være træflis fra skovbruget, græs og andet have-



affald, og rester fra industriel produktion på mejerier m.v.

Våd biomasse som fx biogasrestfibre skal forud for behandling i SkyClean tørres til et vandindhold på 10-12%. Af praktiske grunde, for at lette håndteringen, skal råvarerne også pelleteres, dvs. omdannes til piller på størrelse med ærter, før de bliver pyrolyseret.

SkyClean-pyrolyse har således to hovedværdistrømme med hver sin markedsværdi og klimaeffekt:

- * Biokul til markspredning med kulstofnegativ klimaeffekt (CO_2 tages ud af kulstofkredsløbet og fjernes fra atmosfæren).
- * Pyrolysegas og andre energiprodukter med kulstofneutral klimaeffekt (grønne brændstoffer som kan erstatte fossile brændstoffer).

Biokul er nøglen

Biokul har været kendt og brugt som jordforbedringsmiddel meget længe. Den tidligste kendte anvendelse foregik for 2500 år siden, hvor sydamerikanske kulturer brugte biokul til at forbedre dyrkningsjord. Det foregik ved at sætte ild til madrester og landbrugsaffald i dybe grave, som efter antænding blev dækket med jord. Kullene fra afbrændingen blev tilbageholdt i jorden og virkede som jordforbedringsmiddel.

I moderne tid har biokul været populært som jordforbedringsmiddel i diverse nichekredse på grund af en række positive egenskaber. Det er kendt, at biokul kan forbedre dræningen i lerjord og tilbageholde vand i sandjord. Desuden forbedrer biokul kulstof-

indholdet i udpint jord, og det reducerer udvaskning af kvælstof.

Næringsstoffer fra den anvendte biomasse bevares i biokullet og frigives til jorden. For eksempel er biokul fra biogasrestfibre fosforholdigt og vil kunne bruges til at udjævne de store regionale forskelle i fosfortilførslen til landbrugsjorden mellem Vest- og Østdanmark, der skyldes det langt mere intensive dyrehold i Vest- end i Østdanmark.

Den høje temperatur i pyrolyseprocessen medfører flere andre fordele ved behandling af restbiomasse fra landbruget. Eventuelle rester af skadelige organismer i gylle og biogasrestfibre dræbes, og rester af pesticider, antibiotika, mikroplast m.v. nedbrydes til uvirksomme bestanddele.

Erfaringerne er således positive, men det hører med til billedet, at der mangler dokumenteret viden om storskalabrug af biokul. Desuden kan betegnelsen biokul dække over vidt forskellige produkter med vidt forskellige egenskaber. Afhængig af råmateriale og produktionsmetode kan kvaliteten svinge, og biokullet kan indeholde miljøfremmede stoffer. Ved kvalitet forstås i denne sammenhæng miljø sikkerhed og kulstofstabilitet.

For SkyCleans vedkommende hviler realiseringen af klimaeffekten, og dermed teknologiens helhedsøkonomi, på kvaliteten af biokullet. Hvor SkyCleans energiprodukt, pyrolysegassen og eventuelle opgraderede brændstoftyper, nok skal klare sig på energimarkedet, stilles der en række uomgængelige krav til biokullets kvalitet, før det kan indgå i landbrugets cirkulære biomasse-kredsløb:

- * Grænseværdier for alle miljøfremmende stoffer skal overholdes og dokumenteres
- * Biokullet skal være praktisk at håndtere og velegnet til udspredning
- * Biokullet skal have en beskaffenhed, som giver stabil kulstoflagring i jorden

Nødvendigt med certificering

De anvendte biomasser i pyrolyseprocessen er en væsentlig faktor i slutkvaliteten på biokul. Slam og husholdningsaffald kan fx indeholde tungmetaller, dioxin og PFAS, og det er en af årsagerne til, at SkyClean-pyrolyse har fokus på restbiomasse fra landbruget, som allerede udbringes som gødning og indtil videre ikke bruger andre tilgængelige typer restbiomasse.

En generel udfordring ved pyrolyse er, at processen med de høje temperaturer kan resultere i dannelsen af tjærestoffer

(PAH'er) i biokullet. Derfor er der indført grænseværdier i standarder for biokul. Udviklingsarbejdet med SkyCleans termiske konverteringsproces har i efteråret 2022 resulteret i tjærestofniveauer, der ikke længere kan detekteres i Eurofins akkrediterede laboratorie og som derfor i praksis er tjærefri. Målingerne er et led i en certificeringsproces under standarden ECB, European Biochar Certificate.

EBC er en europæisk standard, som indtil videre er baseret på frivillig deltagelse. Certificeringen læner sig op ad europæiske, nationale standarder for grænseværdier. I forhold til tungmetaller og giftstoffer som dioxin og dioxinlignende PCB'ere lever SkyClean op til kravene i standardens strengeste kategori.

EU har siden den 16. juli 2022 anerkendt biokul lavet på planterester som jordfor-



En anden afgørende kvalitetsfaktor er muligheden for udbringning af biokul på markerne. SEGES har gennemført forsøg med SkyClean-biokul, som viser spredbarhed op til 24 meter med variationsefficient på 6%. Indledningsvis støvgener er løst via øget opfugtning og forbedret pillestyrke.



I de kommende år vil vi få mere viden på dette felt, efterhånden som forskere øger den tilgængelige viden om de faktorer, som er bestemmende for biokullets omsættelighed. Den nuværende vurdering af biokullets forventede lagringstid er tilstrækkelig til at give biokullet værdi som kulstoflager i form af CO₂-certifikater eller klimakreditter, der for biokul for tiden har en værdi på omkring 1.000 kr./ton CO₂.

bedringsmiddel, og netop nu er en udvidelse af gødningsforordningen i høring, der yderligere anerkender biokul lavet ved pyrolyse af husdyrgødning og digestat fra biogasanlæg som gødningsprodukt. Også indenfor det økologisk jordbrug finder biokul anvendelse. Biokul fra SkyClean-processen opfylder også her EBC kravene.

Biokul som kulstoflager

Konkret forventes mindst 85% af det biokul fra SkyClean, som lagres i danske marker, fortsat at være bevaret efter 100 år. Der er grund til at tro, at kvalitetsbiokul vil forblive i jorden i langt længere tid, da kulstoffet mikroorganismer kun meget vanskeligt evner at omsætte det. Det ser man f.eks. ved fund af bålrester fra stenalder-

bopladser, hvor trækul fra sidste bål er det eneste, som er tilbage efter flere tusind år.

Sammenfattende er det således opfyldelsen af alle de nævnte kvalitetsparametre for biokul, som muliggør en attraktiv pyrolyseøkonomi omkring den cirkulære udnyttelse af kulstoffet i landbrugets restbiomasser. En økonomi som hviler dels på indtægten fra pyrolyseprocessens energiprodukter, og dels på indtægten fra kulstoflagring i markerne.

Den enkelte landmand kan efter al sandsynlighed imødesee en form for afgift på CO₂-udledning, og her kan deltagelse i et pyrolyse-projekt åbne for nye indtjeningsmuligheder, som giver mulighed for at op-



2 MW test-anlægget, som ses her på billedet, kan behandle omkring 5000 tons pelleteret biomasse om året.

veje en afgift på udledt CO₂ med indtægter fra lagring af CO₂. Om indtægterne fra CO₂-lagring skal komme fra salg af klimakreditter på det ikke-regulerede marked eller i form af en statsfinansieret CO₂-lagringspræmie – eller noget helt tredje – må den nære fremtids politiske forhandlinger vise.

Status på udviklingen af SkyClean pyrolyseanlæg

Stiesdal SkyClean råder i øjeblikket over to testanlæg, et anlæg med en kapacitet på 200 kW, og et ti gange større anlæg med en kapacitet på 2 MW. Kapaciteten referer til brændværdien af den biomasse, anlægget behandler.

I foråret 2023 idriftsættes et 20 MW-anlæg, som opføres i forbindelse med biogas-anlægget BB Bioenergi ved Vrå. Anlægget er under opførsel og vil årligt kunne behandle op til 40.000 tons tørrede restfibre fra biogasproduktionen.

Stiesdal SkyClean har sammen med en række projektpartnere modtaget en bevilning på 124 millioner kroner fra Pyrolysepuljen 2022 til opførelse af anlægget i Vrå og til relateret forskning og udvikling. Puljens midler administreres af Energi-styrelsen og er finansieret af Den Europæiske Union under NextGenerationEU-initiativet.

Et anlæg med en kapacitet på 20 MW forventes at blive standardstørrelsen på SkyClean-anlæg.

Nøgletal for et 20 MW SkyClean-anlæg med halm som råvare

Anlægget vil kunne behandle op til 40.000 tons halm om året og producere 10.500 tons biokul. Omregnet til CO₂ opsamlet fra atmosfæren svarer det til omkring 28.000 tons CO₂e.

Anlægget vil generere knap 10 MW pyrolysegas. Hvis gassen kondenseres, vil der alternativt kunne produceres 4.300

tons bioolie og 5 MW pyrolysegas. Den samlede klimaeffekt vil være 45.000 tons CO₂ om året.

Etablering af et anlæg beregnet til behandling af biomasse, som ikke behøver tørring, vil anslået koste omkring 150 millioner kr.

Stiesdal SkyClean har beregnet, at økonomien omkring etablering af et sådant anlæg vil være bæredygtig med priser på restbiomasse på mellem 550-850 kroner pr. ton. Dette hviler på en forudsætning, hvor indtægten fra lagret CO₂ er 750 kroner pr. ton CO₂, og værdien af pyrolysegassen er sat til mellem 350-500 kroner pr. MWh.

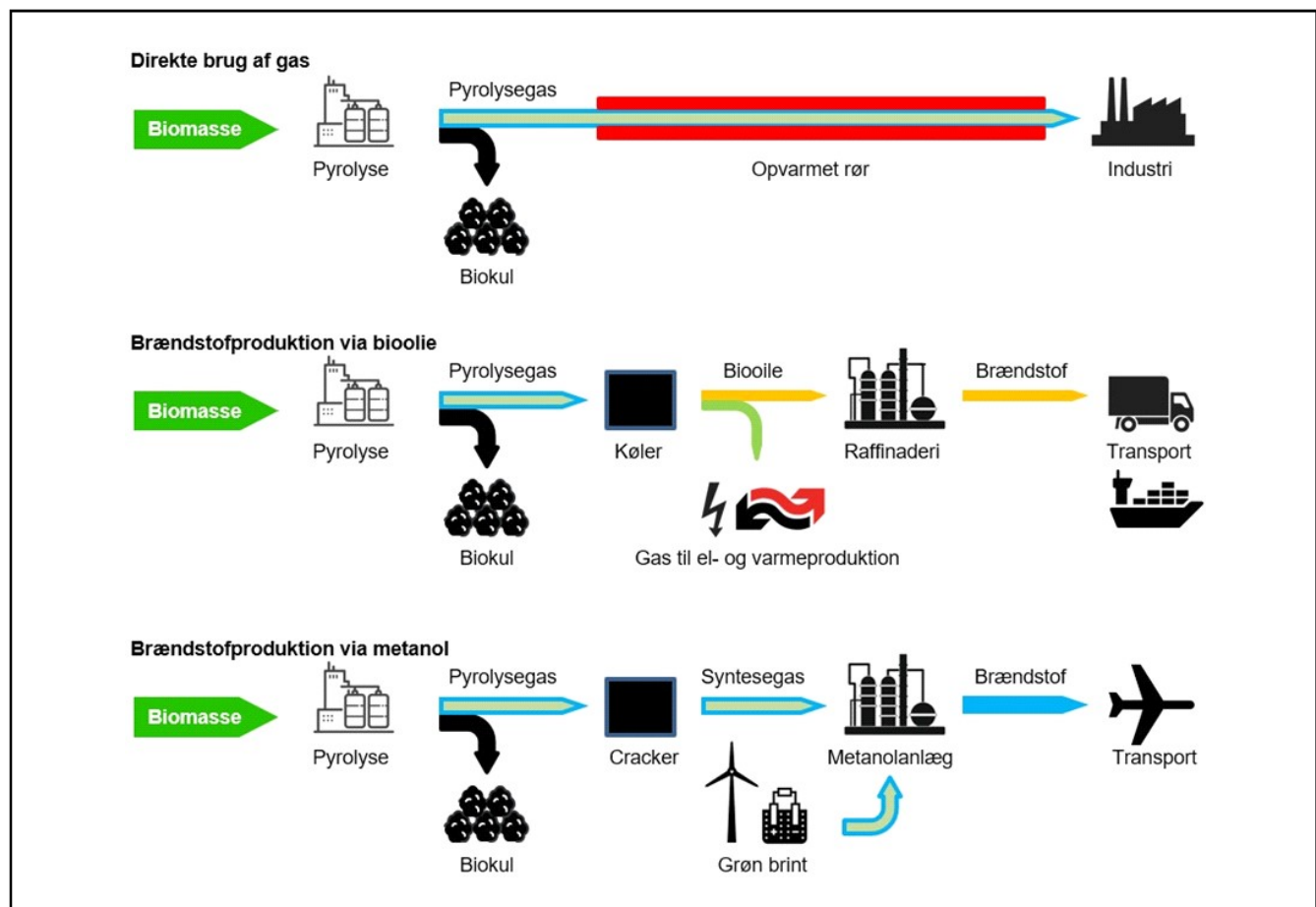
Et anlæg i 20 MW-størrelsen vil have et fysisk pladsbehov på 2.000 kvadratmeter til bygninger. Der vil ikke være nævneværdige støj eller lugtgener fra et SkyClean-

anlæg. Det burde gøre processen omkring miljøtilladelse enklere for en sammenslutning af bedrifter med adgang til tilstrækkelig restbiomasse.

SkyCleans energiproduktion

Herunder ses en oversigt over brændstoftyper og opgraderingsmuligheder:

Pyrolysegassen kommer ud af processen ved en temperatur på ca. 400 °C. Den består af mange forskellige kulbrinter, lige fra små molekyler som metan, der er hovedbestanddelen i biogas og naturgas, til lange kulstofkæder, der bliver til tjære, når gassen køles ned. Ud over kulbrinterne indeholder gassen også vanddamp, brint og kulilte, der væsentlige bestanddele i gamle dages bygas.



Gassen kan anvendes på flere forskellige måder.

Direkte brug af gas: Den simpleste anvendelse er til erstatning af naturgas i opvarmning og i industrielle processer. Her skal SkyClean-anlægget være placeret tæt på forbrugsstedet. For at undgå, at tjæreindholdet i gassen sætter sig på indersiden af gasrøret, skal det være opvarmet til en temperatur, der er lidt højere end de ca. 400 °C, som er gassens temperatur efter processen. Man kan også bruge gassen til at opvarme en kedel og derefter få energien ud som damp, der anvendes i lang række industrielle processer.

Brændstofproduktion via bioolie: I stedet for at holde gassen varm og bruge den til opvarmning, kan den køles ned. Så fortættes de lange kulstofkæder til en tyk, tjæreholdig bioolie. Denne bioolie kan benyttes direkte som substitut for Heavy Fuel Olie i industrielle brændere og maritime motorer, eller efterbehandles i et raffinaderi og blive til forskellige typer brændstof. Resten af gassen, som nu er rensat for tjære, kan bruges til opvarmning eller til elproduktion. Med denne fremgangsmåde kan op mod halvdelen af gassen blive til flydende brændstoffer.

Brændstofproduktion via metanol: En tredje metode til efterbehandling af gassen starter med, at gassen opvarmes til ca. 1000 °C i en såkaldt "cracker". Derved splittes de lange kulstofkæder i mindre stykker, og resultatet er en syntesegas. Ved at tilføje ekstra brint til blandingen kan man bl.a. fremstille metanol, der igen kan anvendes til en lang række formål, bl.a. fremstilling af flybrændstof og plast. Den eks-

tra brint kan fremstilles ved brug af grøn strøm fra sol og vind og på den måde virke som energilager.

Det store energipotential i restbiomasse
Foreløbig er fokus på varmeproduktion på de eksisterende SkyClean-anlæg, men der forskes og udvikles i en række opgraderingsmuligheder fra pyrolysegas til de mere avancerede og dermed mere værdifulde brændstoftyper, herunder PtX-brændstoffer.

Det er rimeligt at antage, at forædlede CO₂-neutrale brændstoftyper vil kunne øge indtjeningsmulighederne omkring pyrolyse af restbiomasse, og dermed accelerere restbiomassens værdirejse yderligere.

Som et eksempel på potentialet: Hvis al indenrigsflyvning i Danmark skulle foregå med grønt flybrændstof fra pyrolyse af restbiomasse, ville det kunne produceres med metanolproduktionen fra 7 SkyClean-anlæg. Der bruges årligt 30 mio. liter flybrændstof til indenrigsflyvning i Danmark, og det ville kunne produceres fra 280.000 tons halm, hvilket svarer til halm fra ca. 3,6% af Danmarks landbrugsjord.

Pyrolyse indgår i Danmarks målsætninger for reduktion af drivhusgasser i 2030, hvor det er forventet, at biokul lavet ved pyrolyse af biomasse kan fjerne mindst 2 mio. ton CO₂e af landbrugets udledninger.