

Pyrolyse Relation til gasnettet

**Projektrapport
Oktober 2022**

RAPPORT

Kolofon

Titel:	Pyrolyse – Relation til gasnettet
Rapportkategori:	Projektrapport
Forfatter:	Niels Bjarne Rasmussen
QA:	Torben Kvist, DGC
Dato for udgivelse:	04.10.2022
Copyright:	Dansk Gasteknisk Center a/s
ISBN-nr.:	978-87-7795-443-6
Sagsnummer:	434-05
Sagsnavn:	Gasfaglig indsats - Sektorkobling
Emneord:	pyrolyse, syngas, biomasse, biokul, bio-SNG, bionaturgas, CCS
Arkivering:	H:\434\05 Gasfaglig indsats 2022 - Sektorkobling\NBR\Pyrolyse - relation til gasnettet.docx

Indholdsfortegnelse	Side
1. Indledning	5
2. Teknologibeskrivelse	5
2.1. Definitioner på pyrolyse.....	5
2.2. Procestrinene ved en typisk pyrolyseproces	5
3. Teknologiscreening.....	8
3.1. Udviklingen i pyrolyseprocesser.....	8
3.2. Danske pyrolyseprojekter	9
3.2.1. SkyClean	9
3.2.2. AquaGreen.....	11
4. Potentialet for gassystemet	12
4.1. De typiske råmaterialer og produkter i pyrolyseprocessen.....	12
4.1.1. Biomasserne som råmateriale.....	12
4.1.2. Biokulproduktet fra pyrolysen.....	12
4.1.3. Bio-SNG-produktet relevant for naturgassystemet	12
4.1.4. Bio-metanolproduktet.....	13
4.1.5. Bio-olieproduktet.....	13
4.2. Mere om bio-SNG og potentialet for gassystemet.....	14
4.2.1. Synergi mellem biogas, pyrolyse og elektrolyse.....	14
4.2.2. Potentialet for produktion af bio-metan til gassystemet.....	15
5. Referencer.....	18
6. Definitioner.....	18

1. Indledning

Pyrolyse er et aktuelt emne, og der er bevilget 194 mio. DKK i et nyligt udbud fra Energistyrelsen (forår 2022). Blandt produkterne fra pyrolyseprocessen er gasser, som kan omdannes til bio-metan og tilføres gasnettet ligesom bionaturgas. Andre produkter er biokul, tjærestoffer og bio-oilier, som alle kan kapitaliseres.

Pyrolyse er relevant i forhold til naturgassystemet, idet produkter fra pyrolyseprocessen kan bidrage til at erstatte fossile brændsler på gasnettet med grønne gasser, uden at gassens egenskaber på nettet ændres væsentligt. Rent metan ligger inden for specifikationerne for naturgas på gasnettet.

2. Teknologibeskrivelse

2.1. Definitioner på pyrolyse

Den mest fremherskende definition af pyrolyse, som man kan finde på Internettet, er følgende: ”Pyrolyse er en kemisk spaltning af et organisk materiale ved hjælp af varme uden tilførsel af ilt, fx ved fremstilling af gas på basis af kul eller biomasse.”

En enkelt reference angiver, at processen skal ske i en inert (inaktiv) atmosfære, dvs. også uden vanddamp. Modsat angiver en anden reference, at damppyrolyse kan forekomme i nærvær af vand.

Diskussionen, om processen kan kaldes pyrolyse, hvis der er vanddamp til stede, er måske lidt akademisk. Der vil under alle omstændigheder være en del vand og vanddamp til stede ved pyrolysen, uanset om vandet er en del af brændslet, eller det tilsættes i processen. Det er meget vanskeligt at tørre biomassen til 0 % vand, og det er heller ikke ønskeligt for processen.

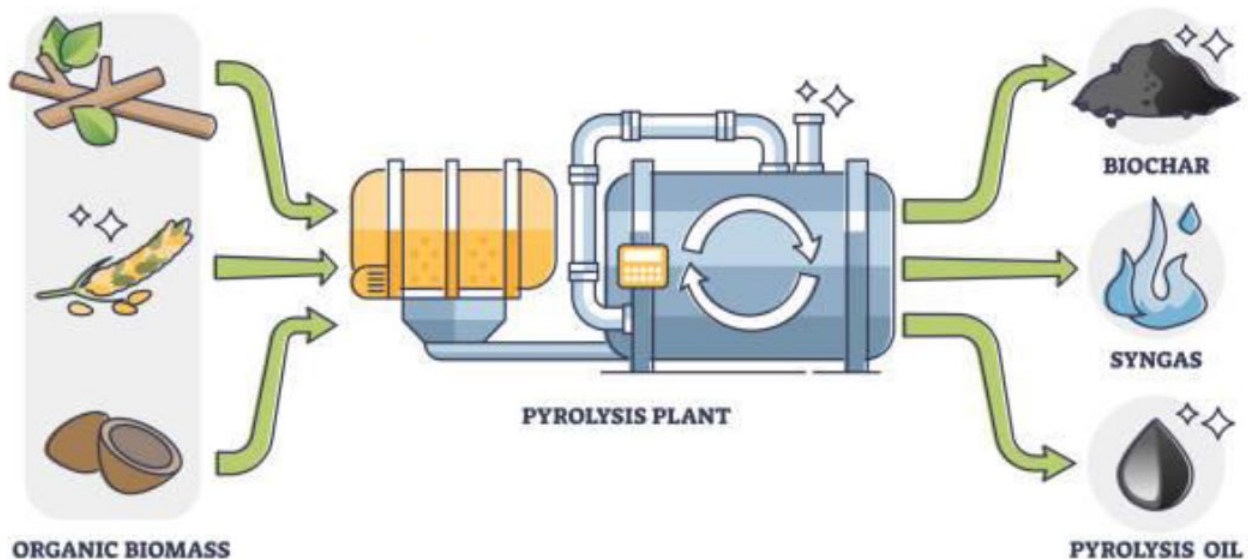
Derfor vælges her at følge den generelle definition, at der blot ikke må tilføres ilt, og dvs. heller ikke luft til processen, for at processen hører under pyrolyse.

Mængden af vanddamp og temperaturen af pyrolysen vil være bestemmende for sammensætningen af pyrolysegassen, som kommer ud af pyrolysen, samt for mængden af biokul. Desuden har hastigheden, hvormed biogassen opvarmes, betydning for sammensætningen.

2.2. Procestrinene ved en typisk pyrolyseproces

Figur 1 viser princippet i pyrolyse. Forskellige biomasser kan anvendes som råmaterialer for processen. Biomassen forbehandles i form af fx tørring og pelletering eller neddeling, så den er velegnet til indføddning i reaktoren, hvori den termiske omdannelse sker. Selve pyrolysen sker fortrinsvis

ved 500-700 °C uden tilførsel af luft eller ilt, og energien til opvarmningen kan ske på forskellig vis, men altså uden direkte forbrænding. Der kan eventuelt også tilsættes vanddamp.



Figur 1 Procestrinene for pyrolyse af biomasse

Output fra pyrolysen er i første omgang biokul og pyrolysegas, så længe pyrolysegassen stadig er varm. Fra pyrolysegassen kan fremstilles syngas, bio-olier og tjærestoffer, som igen kan nedbrydes til andre stoffer. De flydende produkter kan hver især udkondenseres ved afkølingen af pyrolysegassen.

Hvis der er tilstrækkelig vanddamp til stede, kan al pyrolysegassen omdannes til syngas, hvilket kræver opvarmning til 800-900 °C samt en katalysator, som fremmer processen. Den producerede syngas, som består af en blanding af CO, H₂, CO₂ og CH₄, kan derefter videreforarbejdes til forskellige brændsler, hvoraf metanfremstilling er den nemmeste og mest effektive proces.

I Tabel 1 vises pyrolyse og forarbejdningsprocesser hen imod anvendelse og produkter. "Low cost CCS" står for nedmuldning af biokul i jorden, hvor næringsstofferne kan anvendes som gødning, og kulstoffet bliver deponeret i landbrugsjorden i hundreder eller måske tusinder af år. Med denne metode trækker man populært sagt med hjælp fra solen CO₂ ud af luften og gemmer den i jorden som kulstof.

Ved omdannelse af syngas til metan fås bio-SNG, som kan tilsættes naturgasnettet på linje med bio-naturgas fra biogasanlæg, idet det er nøjagtig den samme gas, næsten 100% metan.

Tabel 1 Pyrolyse, produkter og anvendelse

Råstof →	Efter pyrolyse →	Separering →	Anvendelse ↓
Biomasse:	Biokul	Består af: Kulstof, aske, næringsstoffer	"Low cost CCS" og gødning til landbrugsjord og skov
Træpiller	Pyrolysegas (varm)	Pyrolyse-olie	Kan videreforarbejdes til flydende brænds- ler eller krakkes til syngas
Træflis		Tjære	Kan videreforarbejdes til tjæreprodukter el- ler krakkes til syngas
Halm		Syngas	Kan videreforarbejdes til 1) metan, som kan erstatte naturgas (bio-SNG), eller 2) metanol, som kan videreforarbejdes til benzin eller andet
Biofibre			

3. Teknologiscreening

3.1. Udviklingen i pyrolyseprocesser

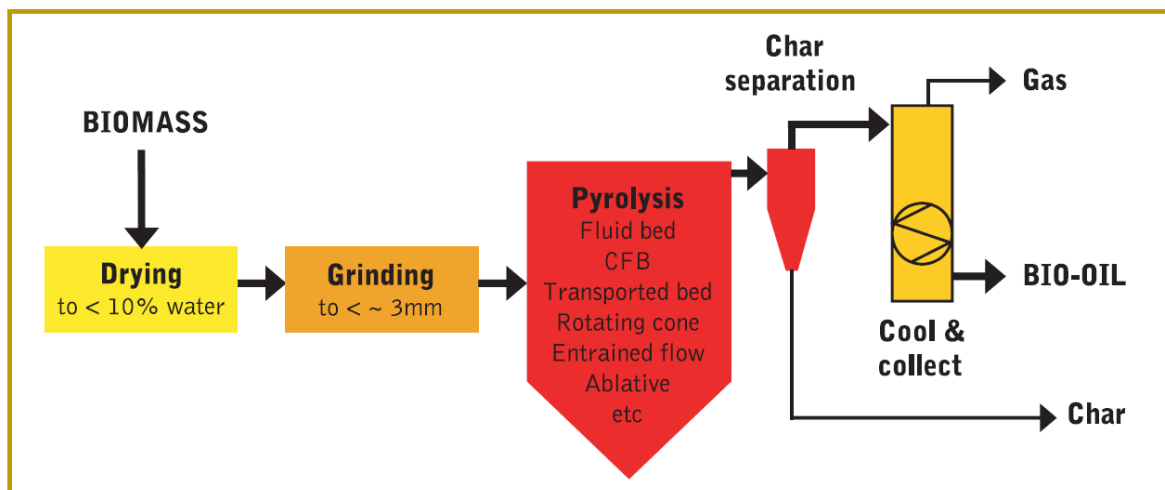
Pyrolyse kendes fra de tidligste tider, hvor mennesket har udnyttet ilden. Kulsvierne omdannede i bronze- og jernalderen brænde fra skovene til trækul, som kunne anvendes ved støbning og smedning. Det var pyrolyse, hvor man dog ikke anvendte gasserne, som bare blev sendt ud i det fri, men derimod trækullet, som kunne sælges som glimrende brændsel. Der findes stadig en hel del kulsvierlaug i Danmark, som fremstiller trækul på hobbybasis. Trækul blev solgt kommercielt helt op i 1900-tallet.

Under 2. verdenskrig blev pyrolyse og forgasning anvendt i ”gengas”-generatorer, som blev hængt på køretøjer, og hvor pyrolysegasserne kunne sendes til karburatoren i motoren, hvorefter køretøjet kunne hoste afsted på gengas. Der skulle altså ”tændes op” i god tid, før man skulle køre.



Figur 2 Billeder af kulsviere og en gengas-generator på en bil

I vore dage er pyrolyse blevet udviklet til en moderne industriel teknologi. Der findes et utal af forskellige beslægtede teknologier for pyrolyse. Udviklingen er mest sket inden for såkaldt hurtig pyrolyse, ”fast pyrolysis”. Ved denne teknologi bliver biomassen tørret og findelt til ca. 2 mm størrelse eller mindre. Herefter opvarmes partiklerne meget hurtigt, fx ved ”fluid bed” teknik eller ”entrained flow” eller anden teknik. Hovedsagen er, at den hurtige opvarmning uddriver mest muligt pyrolyseolie af biomassen, op til 75 %. I disse processer er det derfor først og fremmest pyrolyseolierne, man går efter. Disse kan så, som nævnt, processeres til bio-olie og derfra videre til diesel o.l. Ref. [1] og [2] er links til oversigter over teknologier og projekter vedrørende ”fast pyrolysis”. Figur 3 viser hurtig pyrolyse som koncept.



Figur 3 Hurtig pyrolyse som koncept [2]

3.2. Danske pyrolyseprojekter

I den danske kontekst er det i høj grad biokul, man af tidligere nævnte årsager tilstræber som produkt. Her er det hovedsageligt SkyClean- og AquaGreen-teknologierne, som er under udvikling. Begge udspringer fra forskning gennem mange år ved DTU.

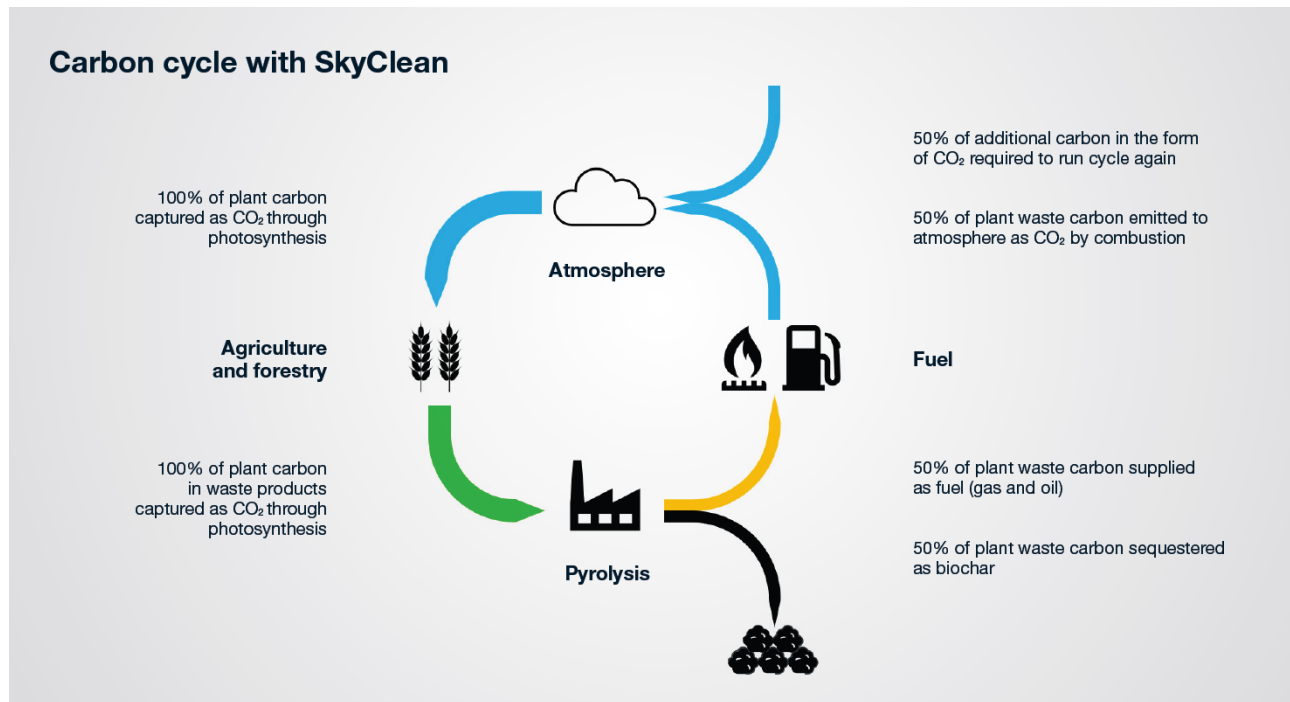
3.2.1. SkyClean



Figur 4 Populær fremstilling af SkyClean konceptet [3]

Figur 4 viser illustrativt, hvordan de første kommercielle SkyClean-anlæg kunne se ud.

Figur 5 viser cyklussen for kulstof i SkyClean-konceptet. På baggrund af fotosyntesen bruges energi fra solen til produktion af grønne planter af enhver art. I denne proces trækkes CO_2 ud af atmosfæren og lagres i biomassen.



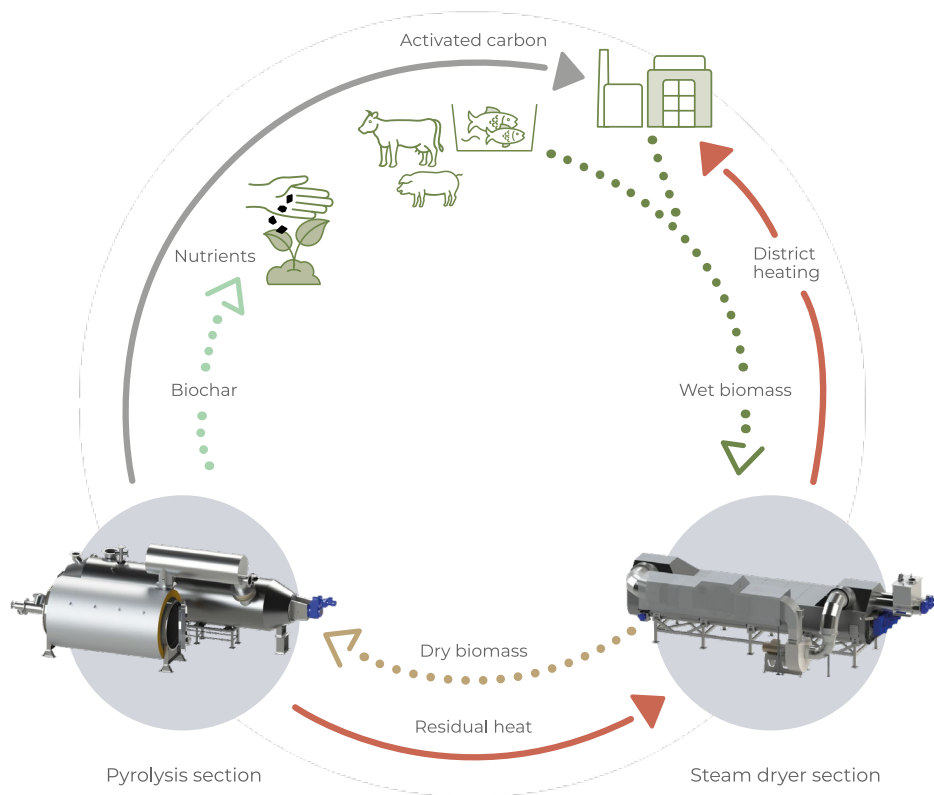
Figur 5 Kulstof-cyklussen i SkyClean konceptet [3]

I SkyClean-projektet er hovedideen at producere biokul fra restbiomasserne i landbruget og opbevare dette biokul på de dyrkede marker som en "low cost CCS"-metode. En stor del af den mulige fordel er dog produktionen af "biprodukter" som biobrændstof og/eller bio-SNG. Pyrolysegasserne fra pyrolyseprocessen kan behandles på forskellige måder for at give forskellige produkter til gavn for omverdenen.

Ved at deponere en del af kulstoffet fra biomassen i jorden trækker man CO_2 ud af luften og lagrer den i jorden, samtidigt med at den anden halvdel af biomassen omdannes til nyttige brændsler.

Biomassen skal i SkyClean-teknologien være ensartet. Det opnås ved, at biomassen, hvad enten den på forhånd er tør eller våd, bliver pelleteret, så den er tør og ensartet i størrelse. Herved opnås fordele både ved pyrolyseprocessen og ved den senere distribution af biomassen, idet ensartetheden kan bibeholdes i biokulproduktet. Dette gør det lettere at håndtere efterfølgende.

3.2.2. AquaGreen



Figur 6 AquaGreens illustration af den cirkulære økonomi for pyrolyse [4]

AquaGreen fokuserer hovedsageligt på at behandle slam fra rensningsanlæg. Efter separation har man en væskefase og vådt slam, hvor det sidste indeholder en stor del biomasse. Også slam fra biogasanlæg egner sig til behandling i AquaGreens anlæg. Slammet tørres først i en damptørre-enhed, og den tørre biomasse behandles derefter i pyrolyseenheden, hvor biokullet fremstilles. Pyrolysegasserne afbrændes helt eller delvist for at give varme til pyrolysen, og overskudsvarme anvendes til damptørre-enheden. Eventuelle medicinrester og andet uønsket er neutraliseret ved pyrolysen, således at steril biokul kan bringes videre til forskellige anvendelser.

AquaGreen har ikke tidligere fokuseret på anvendelse af pyrolysegasserne til andre formål, men i nye projekter er det taget i betragtning, at et restprodukt i form af energigasser kan udnyttes. AquaGreen har hidtil først og fremmest fokuseret på slambehandling og at levere et godt biokulprodukt.

4. Potentialet for gassystemet

4.1. De typiske råmaterialer og produkter i pyrolyseprocessen

4.1.1. Biomasserne som råmateriale

De mest oplagte råmaterialer til pyrolyse er træflis, træpiller, halm og separerede gyllefibre fra biogasanlæg. Oveni kunne der tilføres mindre mængder haveaffald, afskåret vegetation mv. Indtil for nylig var omkostningerne til flis, træpiller og halm dog i samme størrelsesorden som naturgas målt som DKK/GJ. Det betyder, at det uden tilskud ikke ville være muligt at basere produktionen af bio-SNG fra pyrolyseprocessen på disse biomasser.

Fibre fra biogasanlæg har en meget lavere pris, da produktionsomkostningerne kun er omkostningerne ved adskillelsen fra væsken. Men fordelene, som biofibre ville bringe til pyrolyseanlægget, ville på en eller anden måde blive udnyttet kommercielt af de biogasanlægsjere, der leverer. Andre billige biomasserester kan også være tilgængelige.

4.1.2. Biokulproduktet fra pyrolysen

Den nuværende pris på biokul er ret lav. Den er kun baseret på et privatmarked uden tilskud. Det forventes dog, at der vil blive lavet ny lovgivning for at kapitalisere værdien af den negative CO₂-udledning, som nedpløjningen af biokullet medfører. Dette kan ske som et tilskud til landmænd, der pløjer biokul ned baseret på mængden, eller det kan være værdien af unddragne afgifter på ikke frigivet CO₂-udledning. Uanset hvad, vil værdien af lagret kulstof i jorden være omkring 3,6 gange højere pr. ton end CO₂-prisen, da vægten af CO₂ er 3,6 gange vægten af kulstof (C).

4.1.3. Bio-SNG-produktet relevant for naturgassystemet

Det nemmeste produkt at fremstille (undtagen almindelig varme) ud fra den syngas, der produceres i pyrolyseprocessen, er bio-SNG, og det kan også være den bedste måde at udnytte pyrolysegasserne på økonomisk. I den forventede størrelse af anlæggene (~20 MW) er biometanisering sandsynligvis den mest rentable måde at omdanne pyrolysegassen til bio-SNG på. Biometaniseringsprocessen producerer biogas, som nemt kan opgraderes til bio-SNG klar til at blive tilført gasnettet. Fermenteringsprocessen fungerer ved atmosfærisk tryk og bedst omkring 60 °C.

Hvis der tilføres ekstra brint fra elektrolyse, omdanner biometaniseringsprocessen blot en større del af CO₂'en til metan, og opgraderingsprocessen bliver lettere, da mindre CO₂ skal fjernes. I sidste ende kunne opgraderingen udføres udelukkende ved at tilføje brint og omdanne al CO₂ til metan. Dette ville dog kræve en meget præcis mængde brint kontinuerligt, og det vil sandsynligvis ikke være muligt eller rentabelt for "små" anlæg på 20 MW.

Omdannelseseffektiviteten fra CO og/eller H₂ til metan medfører et uundgåeligt termodynamisk tab på ca. 20 %, hvilket giver en virkningsgrad på 80 %. Hvis elektrolyse medtages for højere CO₂-anvendelse, vil den samlede effektivitet falde på grund af tab i elektrolyseprocessen.

Bio-SNG kan også fremstilles ud fra pyrolysegasserne ved termokemiske processer, herunder katalysatorer. Der kræves dog en meget ren syngas til denne proces. Især svovl skal fjernes fuldstændigt opstrøms for metaniseringskatalysatoren. Desuden skal der løbende holdes et meget præcist forhold mellem H₂ og CO/CO₂, hvilket kan være for kostbart at etablere.

Ved etablering af anlæg bør man analysere omkostningerne ved termokemisk metanisering sammenlignet med biometanisering, herunder OPEX-omkostningerne til arbejdskraft, der er nødvendige for at drive metaniseringsanlægget med det aktuelle biomasseinput.

4.1.4. Bio-metanolproduktet

Bio-metanol er teknisk set et relevant muligt produkt fra pyrolyseprocessen. Det er flydende, det har en høj pris, og det kan fremstilles af syngassen. Metanolanlæg skal drives kontinuerligt, da den diskontinuerlige drift vil være for dyr og med for lav effektivitet [5]. Det betyder, at en eventuel nødvendig brintforsyning til konditionering af syngassen til metanolproduktion også skal være kontinuerlig, medmindre et fordyrende brintlager medtages. I modsætning til biometaniseringsprocessen fungerer metanolsyntesetrinnet ved omkring 300 °C og 85 bar, hvilket kræver en teknologi på et meget højere niveau end biometanisering.

Ifølge reference [5] er den sædvanlige størrelse af metanolanlæg 1,2 mio. tons metanol/år. Det svarer til omkring 800 MW metanol. Biomassetilførslen til et SkyClean-anlæg vil være i størrelsesordenen 20 MW. Den mulige metanolproduktion vil være under halvdelen af dette. Det betyder, at den mulige metanolenhed i SkyClean vil være omkring 100 gange mindre end den nuværende kommercielle anlægsstørrelse baseret på naturgas som råmateriale. Det er tvivlsomt, om det vil være muligt at opnå en kommercielt rentabel produktion af metanol fra SkyClean-anlæggene i betragtning af brug af højteknologi på små enheder og nødvendigheden af konstant brintforsyning uafhængigt af varierende elpriser til elektrolyse.

4.1.5. Bio-olieproduktet

En mulig bio-olieproduktion fra pyrolyseprocessen har brug for brint til deoxygenerering af rå bio-olie. Dette er nødvendigt for at konditionere bio-olien til videre raffinering til brændstof til transport eller luftfart. Da pyrolyseprocessen vil være kontinuerlig, skal brinttilførslen også være det. Eventuel elektrolyse skal da ligeledes være kontinuerlig uafhængig af elpriser, medmindre brintlagring er

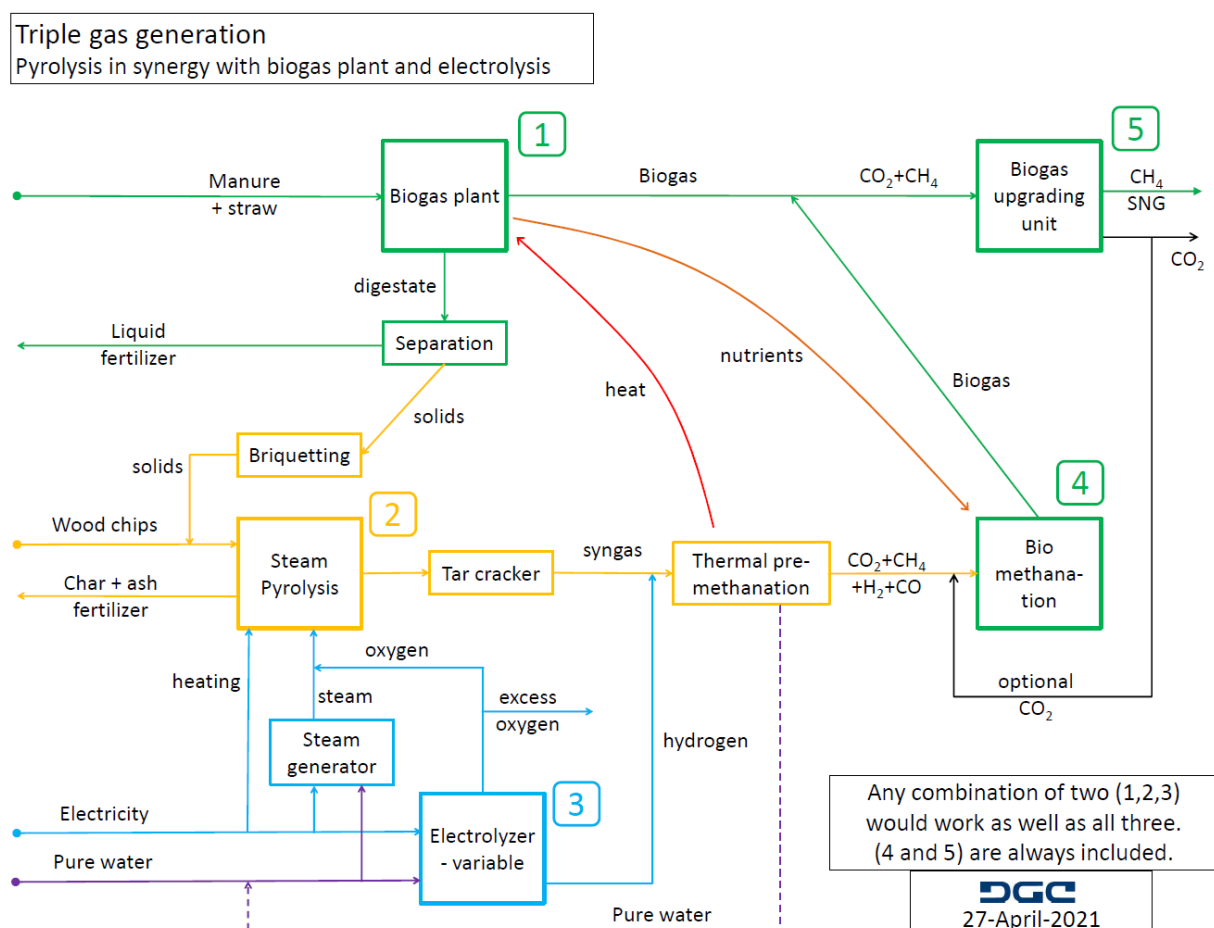
inkluderet. For eventuel bio-olieproduktion bør de samme overvejelser gøres som for metanol om højteknologi på små enheder.

4.2. Mere om bio-SNG og potentialet for gassystemet

Pyrolyseprocessen med efterfølgende processering af pyrolysegassen kan køre alene, men der kan opnås betydelige synergifordele ved kombination med biogasanlæg og elektrolyse.

4.2.1. Synergi mellem biogas, pyrolyse og elektrolyse

Pyrolyseprocessen kan kombineres med et biogasanlæg såvel som med et elektrolyseanlæg. Dette vil gøre det lettere at udnytte synergien mellem pyrolyse og biogasproduktion, og det vil muliggøre udnyttelse af lave elpriser til fremstilling af billig brint til udnyttelse af CO_2 i pyrolysegasserne. Figur 7 viser den mulige synergi for de tre processer.



Figur 7 Synergien i kombinationen af pyrolyse med biogas og elektrolyse

Ideen med denne tredobbelte kombination er synergien mellem processerne. Biomasserester fra biogasanlægget (som biomassefibre) kan udnyttes af pyrolyseanlægget. Varme fra pyrolyseanlægget kan udnyttes til opvarmning i biogasanlægget og i opgraderingsanlægget til biogassen. Næringsstoffer og væsker fra biogasanlægget kan anvendes i biometaniseringsanlægget. Ilt fra elektrolysen kan bruges i pyrolyseanlægget, og brint kan bruges i biometaniseringsanlægget til at omdanne større mængder CO₂ til metan.

Naturligvis kan biogasanlægget køre alene, inklusive opgradering. På samme måde kan pyrolyseanlægget køre alene, herunder metanisering og opgradering. Enhver kombination af to af processerne kan køre uden den tredje. Men med alle tre i drift kan den fulde synergi mellem processerne naturligvis udnyttes. Biogasanlægget og pyrolyseanlægget bør af driftsmæssige årsager drives kontinuerligt, mens elektrolysen bør drives afhængigt af elprisen.

4.2.2. Potentialet for produktion af bio-metan til gassystemet.

Potentialet for pyrolyse og dermed for den mulige tilførsel af bio-SNG fra pyrolysegasserne afhænger i høj grad af, i hvilket omfang teknologien skal konkurrere med andre teknologier om biomassen.

Træ anvendes i høj grad til direkte opvarmning eller til elfremstilling i kraftværker. Hertil sker der en betydelig import af træ. Halm anvendes i voksende grad til at booste biogasanlæg, hvilket er en udmærket anvendelse, men kun ca. halvdelen af energien i halmen kan udnyttes på denne måde. For at udnytte resten af energien, kan restfibrene i gyllen efter fermentering - som beskrevet tidligere - derfor udnyttes efterfølgende ved pyrolyse.

Stiesdal har i ansøgningen til SkyClean-projektet anført, at potentialet er mellem 3 mio. og 11,5 mio. tons biomasse pr. år til pyrolyse afhængigt af det valgte scenarium. Det svarer til mellem 54 og 207 PJ/år indfyret som biomasse. Det laveste tal gælder for "lavthængende frugter" fra let tilgængelige biomasser.

To andre referencer beskriver grundigt mængden af biomasse, som er til rådighed i Danmark. "Analyse af bioenergi i Danmark" fra 2014 [6] og "+10 mio. tons planen" fra 2012 (revideret 2016) [7]. Ved den absolut maksimale produktion af biomasse (Biomasse-scenariet) kunne den årlige danske produktion komme op på ca. 245 PJ i energiindhold (13,5 mio. tons tør biomasse). Dette er uden at reducere den øvrige produktion af afgrøder til føde og foder.

Ved BAU-scenariet (business as usual) kunne man tilsvarende opnå 135 PJ energi (fra 7,5 mio. tons biomasse). Endelig giver Miljøscenariet ca. 200 PJ energi svarende til godt 11 mio. tons biomasse.

Et godt bud på potentialet for dansk produceret biomasse er derfor ca. 200 PJ. Heraf bliver der for nuværende anvendt ca. 40 PJ i form af træ-brændsel, ca. 20 PJ produceret bionaturgas og ca. 20 PJ anvendt halm-brændsel [8]. Der er derfor et yderligere potentiale på over 100 PJ, som på den ene eller anden måde kunne anvendes til energiformål og heraf en stor del til pyrolyse. Da ca. 80 % teknisk set kunne omsættes til metan, er der et stort teknisk potentiale for produktion af bio-SNG. I Danmark var nettonaturgasforbruget ca. 70 PJ i 2020 og i 2021 (eksklusive forbrug i Nordsøen) [8].

Ved pyrolyse, hvor der også produceres biokul, som nedmuldes i landbrugsjord, vil kun ca. halvdelen af energien kunne udnyttes til energiformål, idet resten af energien er gemt i det nedmuldede biokul. Det reducerer selvfølgelig potentialet. Hvis man anvender affaldstræ fra skoven som biomasse, er der måske ikke så meget brug for den jordforbedrende effekt fra biokullet. I det tilfælde kan man ændre på processen eller benytte en beslægtet proces, hvor en større mængde energi bliver til energigasser og mindre til biokul. Herved kan en større mængde energi erstatte fossile brændsler med sparet CO₂-emission som resultat. Asken kan eventuelt føres tilbage til skoven.

Produktionen af bio-SNG fra pyrolysegasserne vil under alle omstændigheder skulle konkurrere med produktion af olier og andre flydende brændsler fra processen. Dette reducerer potentialet for bio-SNG. Man kan derfor ikke regne med, at det fulde restpotentiale i form af biomasse er til rådighed for bio-SNG-produktion, men der er stadig et stort potentiale, som skønnes at være 30-50 PJ pr år, hvilket kunne bidrage til en væsentlig forøgelse af bionaturgaspotentialet ud over biogassen.

Tabel 2 viser et skøn over potentialer for biomasse og for mulig bio-SNG-produktion.

Tabel 2 Potentiale for produktion af bio-SNG

Ca.-tal – bedste skøn ud fra referencer	PJ/år
Naturgasforbrug (eksklusive forbrug i Nordsøen)	70
"Lavthængende frugter", nem ekstra biomasse	54
Biomassescenariet +10 mio. tons planen, biomasse i alt	245
BAU-scenariet +10 mio. tons planen, biomasse i alt	135
Miljøscenariet +10 mio. tons planen, biomasse i alt	200
Nuværende anvendelse af dansk træ til energi	40
Nuværende biogasproduktion til bionaturgas (kan forøges væsentligt)	20
Nuværende halmforbrug	20
Skønnet mulighed for dansk biomasse i alt (som Miljøscenariet)	200
Skønnet mulighed for ekstra dansk biomasse ud over nuværende forbrug	100
Skønnet ekstra mængde bio-SNG som kunne produceres af biomasse	30-50

Med den nyeste udvikling af energipriserne (2022) er det oplagt at se på udnyttelse af alle muligheder for produktion af brændsler, flydende såvel som gasformige, ud fra restbiomasser af enhver slags. Yderligere kunne der være basis for egentlig energiskov til energiproduktion på arealer, som ellers ikke bliver udnyttet (brakjorde osv.). Disse arealer ville gøre større nytte ved at producere energi end ingenting. Bevarelse eller forbedring af biodiversiteten skal selvfølgelig tages i betragtning.

En kombination af pyrolysen med biogasanlæg - og med elektrolyse ved relativt lave elpriser - kunne danne grundlag for at erstatte al naturgasforbrug i Danmark med bionaturgas og bio-SNG på basis af biomasse i løbet af en kort årrække.

5. Referencer

- [1] The Pyromaniac, Class of 2015: The Top 10 Pyrolysis projects in renewable fuels
<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/08/03/the-pyromaniac-class-of-2015-the-top-10-pyrolysis-projects-in-renewable-fuels/>
- [2] IEA Bioenergy, Biomass Pyrolysis, 2007
<https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/biomass-pyrolysis/>
- [3] SkyClean product brochure, 2022
<https://www.stiesdal.com/skyclean/skyclean-is-a-game-changing-technology-for-agriculture/>
- [4] AquaGreen website
<https://aquagreen.dk/>
- [5] *Technology Data, Renewable fuels*, Energistyrelsen & Energinet, 2017.
- [6] *Analyse af bioenergi i Danmark*, Energistyrelsen, 2014
- [7] *+10 mio tons planen*, Københavns Universitet & Århus universitet, 2012 (revideret 2016).
- [8] *Energibalance 2020 og 2021, Energistatistik 2020*, Energistyrelsen

6. Definitioner

Pyrolyse: Omdannelse og spaltning af organisk materiale ved opvarmning uden tilførsel af ilt

Pyrolysegas: Den gasformige del af pyrolyseprodukter før afkøling

Bionaturgas: Opgraderet biogas, som kan tilføres naturgasnettet

Biometanisering: Omdannelse af syngas til biogas ved en fermenteringsproces svarende til processen i et biogasanlæg

Bio-SNG: Enhver form for biologisk materiale omdannet til metan, som kan tilføres naturgasnettet

Biomasse: Biologisk materiale i form af fast stof

Biokul: Kulstof og aske som fast stof og et produkt af pyrolyseprocessen

CCS: "Carbon Capture & Storage", indfangning og deponering af kulstof i undergrunden eller på anden vis