

Metanisering Potentiale for grøn gas

**Projektrapport 417-55
Januar 2024**

RAPPORT

Kolofon

Titel:	Metanisering - Potentiale for grøn gas
Rapportkategori:	Projektrapport
Forfatter:	Niels Bjarne Rasmussen
QA:	Torben Kvist, DGC
Dato for udgivelse:	23.01.2024
Copyright:	Dansk Gasteknisk Center a/s
ISBN-nr.:	978-87-7795-447-4
Sagsnummer:	417-55
Sagsnavn:	Faglig formidling Grøn Gas Produktion
Emneord:	Metanisering, biomasse, pyrolyse, forgasning, syngas, CO ₂ , H ₂ , biogas, bionaturgas, PtX, PtG, bio-SNG
Arkivering:	H:\Proj\417\55 Faglig formidling Grøn Gas Produktion\Pyrolyse og metanisering - Potentiale for grøn gas\Metanisering - Potentiale for grøn gas.docx

Indholdsfortegnelse	Side
1. Indledning.....	5
1.1. Resumé og konklusion	5
2. Teknologibeskrivelse.....	6
2.1. Definitionen på metanisering	6
2.2. Råstoffer	6
2.2.1. CO ₂ og H ₂	6
2.2.2. Biomasse	6
2.2.3. Syngas	6
2.2.4. Den grundlæggende energikilde.....	7
2.3. Processer i relation til metanisering	7
2.3.1. Biogasanlæg, anaerob fermentering.....	7
2.3.2. PtG (Power to Gas).....	8
2.3.3. Biometanisering af syngas.....	10
2.3.4. Pyrolyse af biomasse	11
2.3.5. Forgasning af biomasse	12
2.3.6. Triple gas generation – en kombination af processer.....	14
3. Potentialet for gassystemet.....	17
3.1. Biomasserne som råmateriale.....	17
3.2. Energiskov.....	18
3.2.1. Urørt skov.....	20
3.3. Potentialer for produktion af bio-metan til gassystemet.	22

3.4.	Konklusion på potentialet for gassystemet.....	25
4.	Konkurrerende produkter og processer	27
4.1.	Flydende brændsler mm.	27
4.1.1.	Bio-metanolproduktet.....	27
4.1.2.	Bio-olieproduktet.....	27
4.1.3.	Metan som mellemprodukt.....	28
4.2.	Kulstof som den knappe ressource	29
4.2.1.	Hvor skal vi få kulstoffet fra?.....	30
4.2.2.	Hvordan binder man mest el-energi i halen på et kulstofatom?.....	30
4.2.3.	Metan i luftfart og skibstransport	32
5.	Referencer	33
6.	Definitioner	34

1. Indledning

Metanisering er en proces, som danner metan (CH_4), og metan er hovedbestanddelen i naturgasnettet. Bionaturgas består næsten udelukkende af metan og kan erstatte naturgas på gasnettet. At gøre naturgassen grøn består derfor hovedsageligt i at anvende metanisering til at producere metan til gasnettet ud fra andre grønne energikilder eller energibærere.

Formålet med at anvende grønne energikilder og grønne energibærere er først og fremmest at reducere drivhusgasudledningen til atmosfæren, men også forsyningssikkerheden bliver forbedret, når indenlandske vedvarende energikilder bliver taget i brug. Disse formål bør gennemsyre alle aktiviteter, som har at gøre med grøn energi, og det er mål, der sigtes imod i denne rapport.

Denne rapport beskriver forskellige metaniseringsprocesser, teknologierne og potentialerne. Der fokuseres kun på VE-kilder til energi, idet fossile kilder ønskes udfaset i den politiske verden, hvilket er nødvendigt, hvis en reduktion af drivhusgasser skal opnås.

Derimod kan der godt indgå fossile kilder til CO_2 , når disse er uundgåelige i en civiliseret verden (fx fra cementfabrikker, hvor CO_2 er uundgåelig ved fremstillingen). Uanset kilden vil det under alle omstændigheder gavne atmosfæren at bringe CO_2 i yderligere omløb ved anvendelse af metanisering.

1.1. Resumé og konklusion

Der findes en række forskellige metaniseringsprocesser, ligesom der findes adskillige VE-kilder, som kan omdannes til grønt metan. De oplagte kilder er elektricitet, som via elektrolyse og brint plus kulstof kan omsættes til metan, samt biomasse og affaldsprodukter, som på forskellig måde kan processeres til biometan. Ren metan kan erstatte naturgas på gasnettet. De beskrevne metaniseringsprocesser omfatter fermentering i biogasanlæg, elektrolyse med efterfølgende biometanisering af brint og CO_2/CO , forgasning eller pyrolyse med efterfølgende biometanisering af den producerede syngas, samt kombinationer af disse processer.

Potentialet for produktion af kulbrintebaserede VE-brændsler inklusive nuværende biomasse og biogas skønnes at være i størrelsesordenen 200 PJ/år fra danske biobaserede råstofkilder og yderligere ca. 100 PJ/år fra elektrolyse og efterfølgende metanisering af brint og CO_2/CO . Heraf skønnes det, at mindst halvdelen vil kunne anvendes til produktion af metan, som efterfølgende kan tilføres naturgasnettet, dvs. ca. *3 gange det nuværende naturgasforbrug*, 2022. Naturgasnettet kan transportere metan, som dels kan anvendes til brændsel direkte og dels kan processeres til andre gasformige og flydende brændsler.

2. Teknologibeskrivelse

2.1. Definitionen på metanisering

Metanisering er dannelse af metan ud fra andre råstoffer. Metan er en brændbar gas, og formålet med metanisering er at omdanne mindre velegnede energikilder eller energibærere til metan i en situation eller til et formål, hvor metan er en mere hensigtsmæssig energibærer end anden energi.

Naturgassen indeholder som hovedbestanddel metan, og gasser, der tilføres naturgasnettet, skal have egenskaber, som ligner naturgassens, hvilket ren metan opfylder. Derfor er metanisering en proces til fremstilling af en gas, som kan erstatte den fossile naturgas på gasnettet.

2.2. Råstoffer

2.2.1. CO₂ og H₂

Processen, hvor CO₂ kombineres med H₂ er nok den mest kendte metaniseringsproces, men der er flere vigtige kilder til metan, som det vises i de næste afsnit.

Brint (H₂) er ikke en energikilde og skal derfor fremstilles ud fra andre energikilder. Brint fås fortrinsvis fra elektrolyse af vand, og det egentlige "råstof" er derfor elektricitet. Metan og brint er energibærere, mens CO₂ er et produkt fra forbrænding, som ikke indeholder energi. CO₂ kan fortrinsvis fås fra biogasanlæg, cementfabrikker eller store kraftværker. Ved metaniseringen bringer man kulstoffet (C) i CO₂ tilbage i omløb som en del af brændstofmolekylet, CH₄.

2.2.2. Biomasse

Biomasse består hovedsageligt af atomerne C, O og H bundet som store molekyler i faste stoffer. Det kan være en hvilken som helst slags biologisk materiale, også animalske restprodukter. Som oftest er der bundet vand til biomassen, hvilket kan reduceres ved tørring.

Ved visse fysiske, termiske og/eller biologiske processer kan biomasse omdannes til en blanding af hovedsageligt metan og CO₂. I biogasanlæg kan fx gylle fra landbruget eller slam fra rensningsanlæg omsættes til biogas, som består af ca. 60 % metan og 40 % CO₂.

2.2.3. Syngas

Ved forgasning eller pyrolyse dannes bl.a. syngas (syntesegas), som er en blanding af CO, CO₂, H₂ og CH₄ i forhold, der kan variere fra proces til proces. Stofferne CO, CO₂ og H₂ kan ved en termisk/kemisk reaktion ved relativt høje temperaturer (200-700°C) eller ved en biologisk proces

fortrinsvis ved 50-60°C omdannes til en blanding af CH₄ og CO₂, hvilket svarer til biogas. Vand kan indgå på begge sider af reaktionen afhængigt af startblandingen.

Det egentlige råstof er her fortrinsvist fast biomasse, som indgår i den indledende pyrolyse eller forgasning, hvorved syngassen dannes.

2.2.4. Den grundlæggende energikilde

Uanset hvilken metaniseringsproces vi betragter med anvendelse af våde eller tørre biomasser eller brint som råstoffer, så er den grundlæggende energikilde for den resulterende VE-metan solen. Solen giver energi til planterne via fotosyntesen samt til vinden og det direkte sollys til produktion af elektriciteten.

2.3. Processer i relation til metanisering

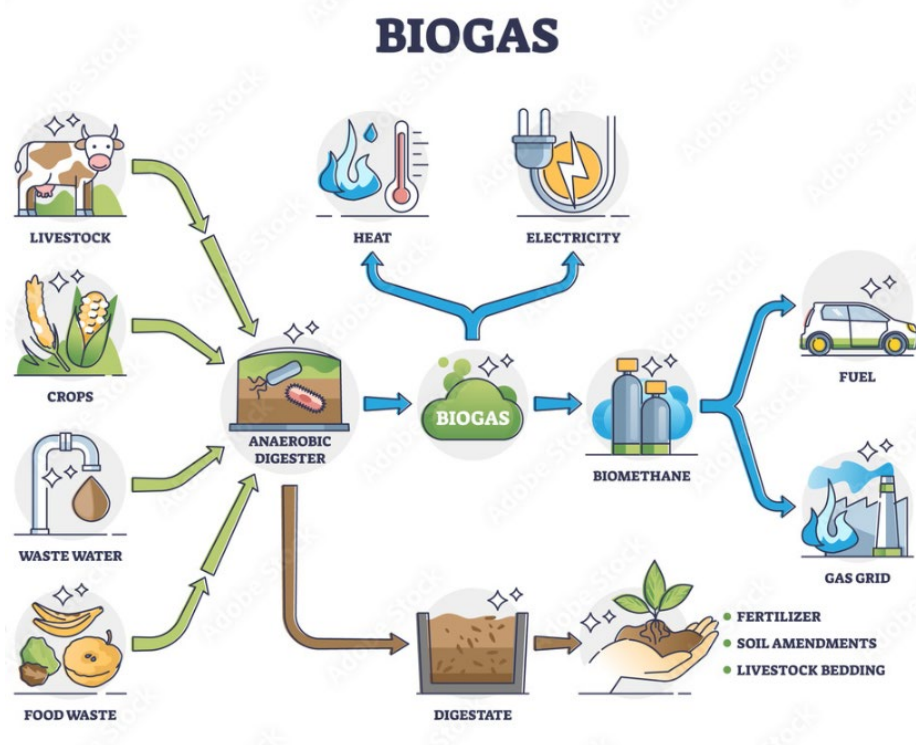
2.3.1. Biogasanlæg, anaerob fermentering

Den mest almindelige form for metanisering af biomasser er den proces, som sker i et biogasanlæg. Våde biomasser, som gylle og ensilage fra landbruget, slagteriaffald, slam fra rensningsanlæg, restprodukter fra sukkerfremstilling, madaffald osv., kan omdannes i biogasanlæg ved processer med en gennemsnitlig opholdstid fra et par uger op til måske mere end 10 uger. Udnyttelsen af biomassen forøges ved længere opholdstid.

Også tørre biomasser, som fx halm, kan anvendes i biogasanlæg, hvis de opblandes med væske. Halmen kan eventuelt forbehandles, så den bliver lettere omsættelig. Dette kan ske med forskellige metoder; fysiske (fx kogning), mekaniske (fx findeling) eller kemiske (fx ammoniak). Som det vises senere, er der et stort potentiale både fra våde biomasser og fra halm, som kan udnyttes i biogasanlæg. Figur 1 er en illustration af biogasprocessen [1].

I biogasanlæg kan fx gylle fra landbruget eller slam fra rensningsanlæg omsættes til biogas, som består af ca. 60 % metan og 40 % CO₂. Biogassen skal opgraderes, dvs. at CO₂ skal fjernes, før gassen kan tilsættes naturgasnettet.

Bionaturgassen (eller biometanet) kan tilføres naturgasnettet og eventuelt gemmes i naturgaslagrene (ligesom naturgassen). Oprindelsesgarantier (certifikater) på bionaturgassen sikrer, at brugere kan tilskrives CO₂-neutralitet ved brug af gassen. Overproduktionen af biogas om sommeren kan i naturgaslagrene gemmes til brug om vinteren.



Figur 1 Illustration af biogasprocessen fra råmaterialer via biogasreaktoren til biometan [1]

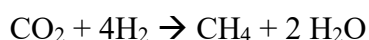
2.3.2. PtG (Power to Gas)

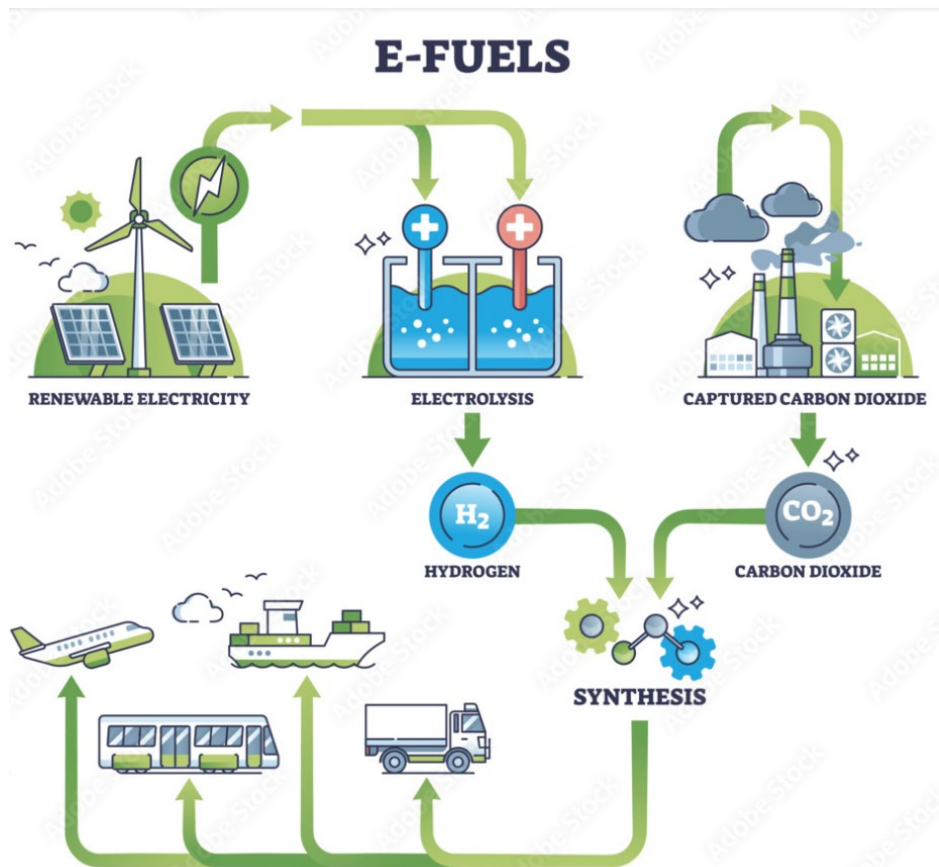
Power to Gas eller PtG fås almindeligvis ved elektrolyse af vand, hvor H_2O deles i brint (H_2) og ilt (O_2). Elektrolyse sker ved at sende jævnstrøm gennem nogle elektroder i vand, hvorved H_2 udskilles ved katoden (minuspolen) og O_2 ved anoden (pluspolen). Der findes forskellige elektrolyseprocesser, som hver især har fordele og ulemper. Figur 2 er en illustration af pyrolyseprocessen.

Når brinten fra elektrolyse anvendes til metanisering, kræver det en tilførsel af kulstof (C), før der kan dannes metan. En oplagt mulighed er at anvende CO_2 fra biogasproduktion, hvilket er et restprodukt, men også andre kilder til CO_2 er relevante fx fra store kraftværker eller fra cementfabrikker, som ikke kan undgå CO_2 -emission fra de kemiske processer ved cementfremstilling.

Den såkaldte Sabatier-reaktion er den, som omdanner en blanding af CO_2 og H_2 til metan og vand.

Overordnet reaktion:





Figur 2 Skematisk illustration af elektrolyse baseret på el fra sol og vind med dannelse af e-fuel ved syntese af brint og CO₂ [1]

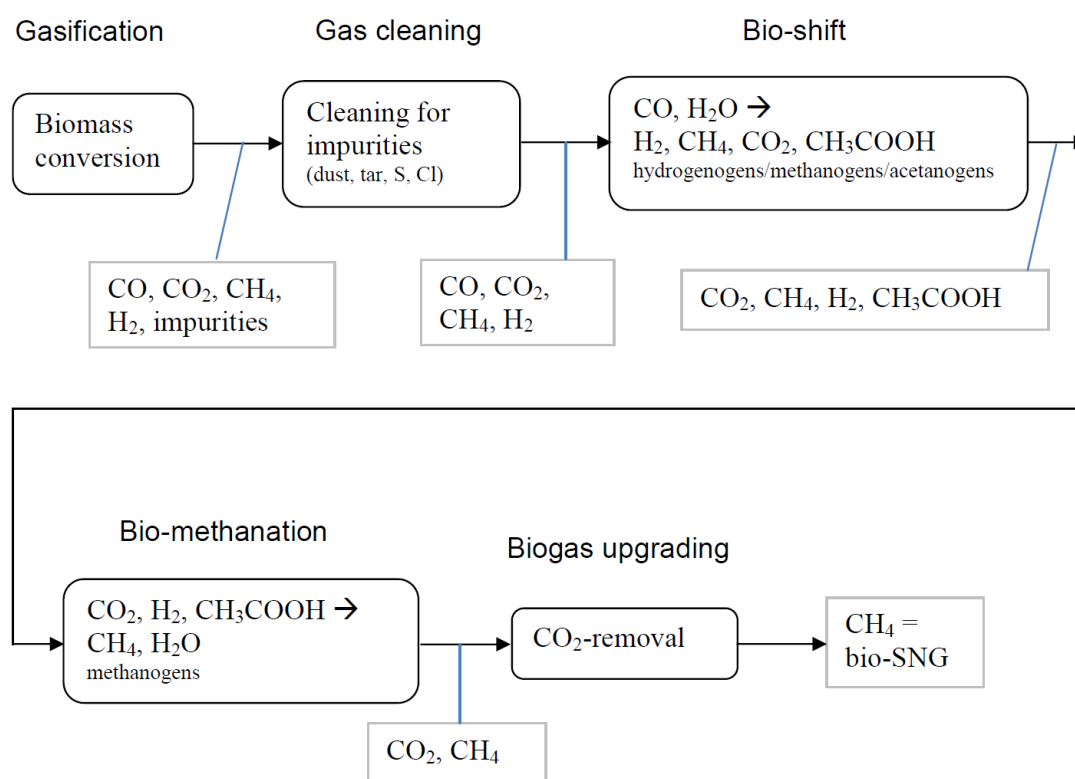
Det skal understreges, at der ikke er meget ”grøn” energi i metan fremstillet fra brint ud fra fossilt baseret el, idet der udsendes 4-8 gange mere fossilt CO₂ ved elfremstillingen end der spares i den anden ende, hvor metanet erstatter naturgas. Så elektriciteten til elektrolysen må *kun* komme fra vedvarende energikilder, som sol eller vind, hvis metanet fra elektrolyse og metanisering skal betragtes som grønt.

Ved metanisering af elektrolysebaseret brint og CO₂ lider man stadig under det paradoks, at investeringerne og teknologierne tilsiger, at anlæggene skal køre næsten alle årets timer, mens el-priserne tilsiger, at man kun skal køre, når sol og vind er til stede i tilstrækkelig grad til, at elpriserne er lave, og elektriciteten er grøn.

Energinet har et projekt ”Energioprindelse” med timebaserede oprindelsesgarantier for el. Kun anvendelse af disse teknologier, dvs. registrering og køb af *timebaserede* oprindelsesgarantier, vil kunne sikre, at *kun* grøn el bliver anvendt til produktion af grønt e-metan.

2.3.3. Biometanisering af syngas

Biometanisering af syngas er en proces, som minder om processen i et biogasanlæg, men med omdannelse af en gasblanding til metan i stedet for biomasse til metan. Her anvendes som udgangspunkt de samme mikrober, som i biogasanlæg, men mikroberne er ”opdraget” til at omdanne syngas til metan. Syngas indeholder den giftige gas CO (kulilte), men ved en gradvis tilvænning kan mikroberne efterhånden tilpasses til omdannelse af syngassen til en blanding af metan og CO₂, hvilket svarer til biogas. Denne biogas kan opgraderes til naturgaskvalitet ligesom biogas fra et traditionelt biogasanlæg, hvorefter den kan tilsættes naturgasnettet. Figur 3 viser et procesdiagram for biometanisering.



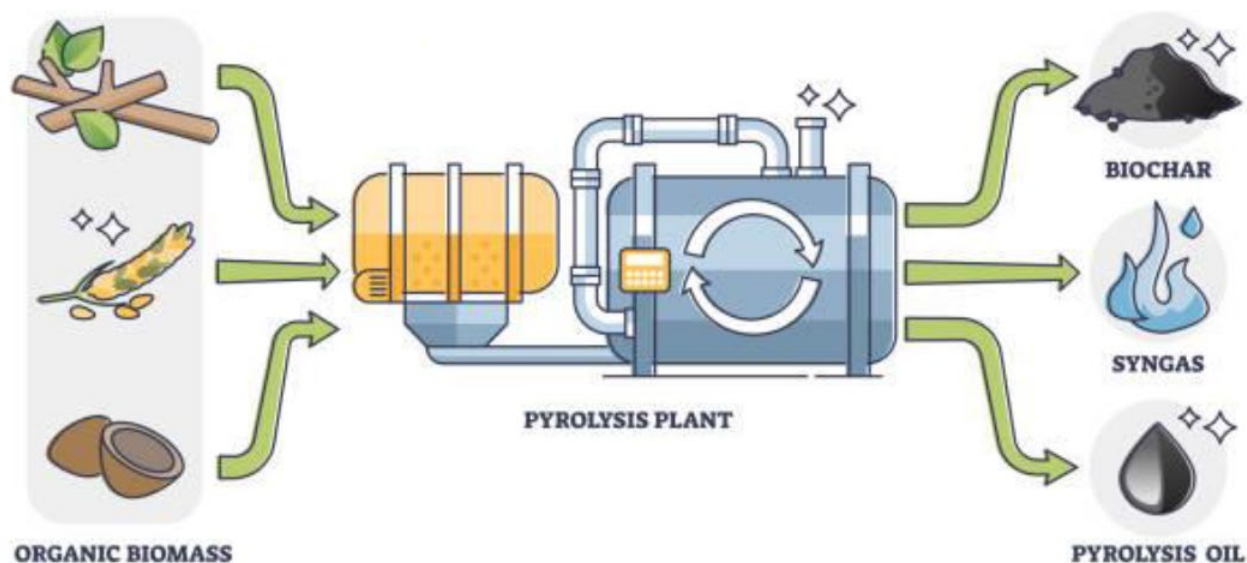
Figur 3 Et procesdiagram for omdannelse af fast biomasse via forgasning til bionaturgas [2]

Syngassen til processen kan fås fra pyrolyse eller forgasning af biomasse (hvilket omtales i efterfølgende afsnit). I princippet kan syngassen også fremstilles fra fossile energikilder, men i så fald er gassen ikke grøn. Processerne pyrolyse og forgasning minder om hinanden, hvor forgasning i princippet omdanner al biomassen til syngas og aske, mens pyrolysen kun omdanner en del af råvaren til syngas, hvor resten vil være biokul (biochar) med en stor andel kulstof (C) samt aske.

Biometanisering kan i princippet køre alle årets timer, idet råvarerne er tilgængelige hele året, og biometan fra metaniseringen kan gemmes i gassystemets gaslagre.

2.3.4. Pyrolyse af biomasse

Figur 4 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 4 Processtrinene for pyrolyse af biomasse [1]

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 [3]. Med "Low cost CCS" menes 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. Kun ca. halvdelen af energien vil kunne udnyttes til energiformål, idet resten af energien er gemt i det nedmuldede biokul.

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

Tabel 1 Pyrolyse, produkter og anvendelse [3]

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

2.3.5. Forgasning af biomasse

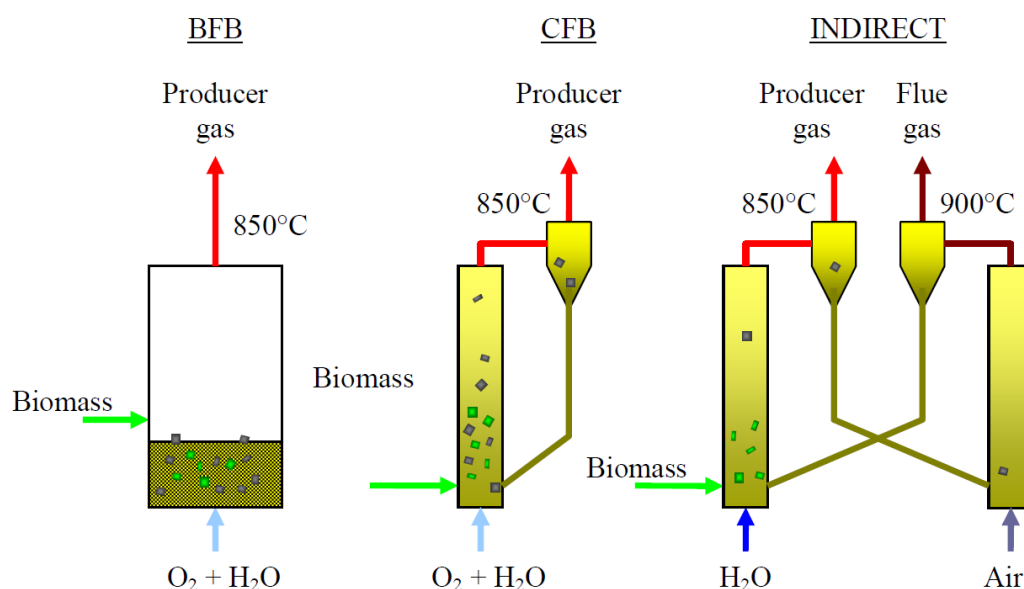
I det tilfælde, hvor biokullet ikke har den store værdi for jorden, hvorfra biomassen kommer, vil forgasning være en mere fordelagtig proces til dannelse af syngassen. Her vil en større del af energien i biomassen blive omdannet til brugbar energi, idet der ikke går energi til spilde med biokullet.

Forgasningsprocessen ligner pyrolysen, især når forgasningen foregår med damp i stedet for med luft eller ilt. Ved dampforgasning kan der, ligesom for pyrolyse, ske en indirekte opvarmning af biomasse og damp, hvilket kaldes en alloterm forgasning. I forgasningsprocessen, som foregår ved 800-1000°C, omdannes alt det biologiske materiale til syngas, tjære og aske. Der er i dette tilfælde ikke biokul som produkt af processen, men en større syngasmængde.

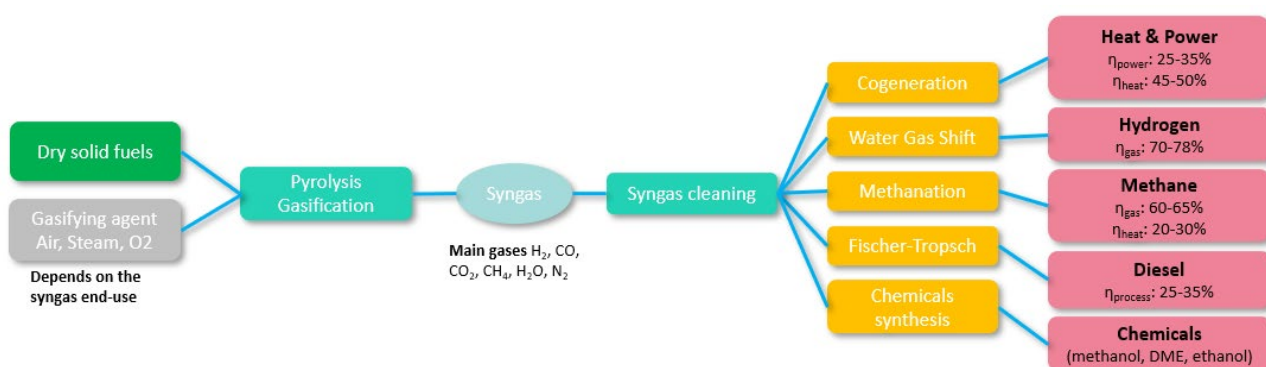
Processen ligner pyrolyseprocessen i Figur 4, dog uden biokul som produkt. På Figur 5 ses en række forgasningsprocesser, hvor kun processer uden lufttilførsel i forgasningen vil være relevant for en videre metanisering med henblik på tilførsel til naturgasnettet [4]. Forgasning med luft ville tilføre for store mængder kvælstof (N₂) til gassen. I stedet for at tilføre luft kan der anvendes ilt og/eller vanddamp. Eventuelt kan der anvendes el til opvarmning, hvorved en delvis forbrænding

undgå, og en større mængde biomasse omdannes til energiholdigt syngas. Indirekte ville det være ”low cost PtG”.

Specifikationerne for naturgas kræver meget lave mængder af kvælstof (N_2) og/eller CO_2 og en metan-koncentration på over 97 % ved tilførsel til naturgasnettet.



Figur 5 Illustration af forskellige fluid bed forgasningsteknologier uden tilsætning af luft i producer-gassen, som kan omdannes til syngas for metanisering [4].



Figur 6 Processtrinene for pyrolyse og forgasning af biomasse i et fælles diagram [5]

I Tabel 2 vises forgasning og forarbejdningsprocesser hen imod anvendelse og produkter.

Tabel 2 Forgasning, produkter og anvendelse

Råstof →	Efter forgasning →	Separering →	Anvendelse ↓
Biomasse:	Aske	Består af: Aske og næringsstoffer	Eventuelt gødning til landbrugsjord og skov
Træpiller Træflis Halm Biofibre	Forgasningsgas (varm)	Tjærestoffer	Kan videreforarbejdes til tjæreprодукter eller krakkes til syngas
		Syngas	Kan videreforarbejdes til 1) metan, som kan erstatte naturgas (bio-SNG), eller 2) metanol, som kan videreforarbejdes til benzin eller andet

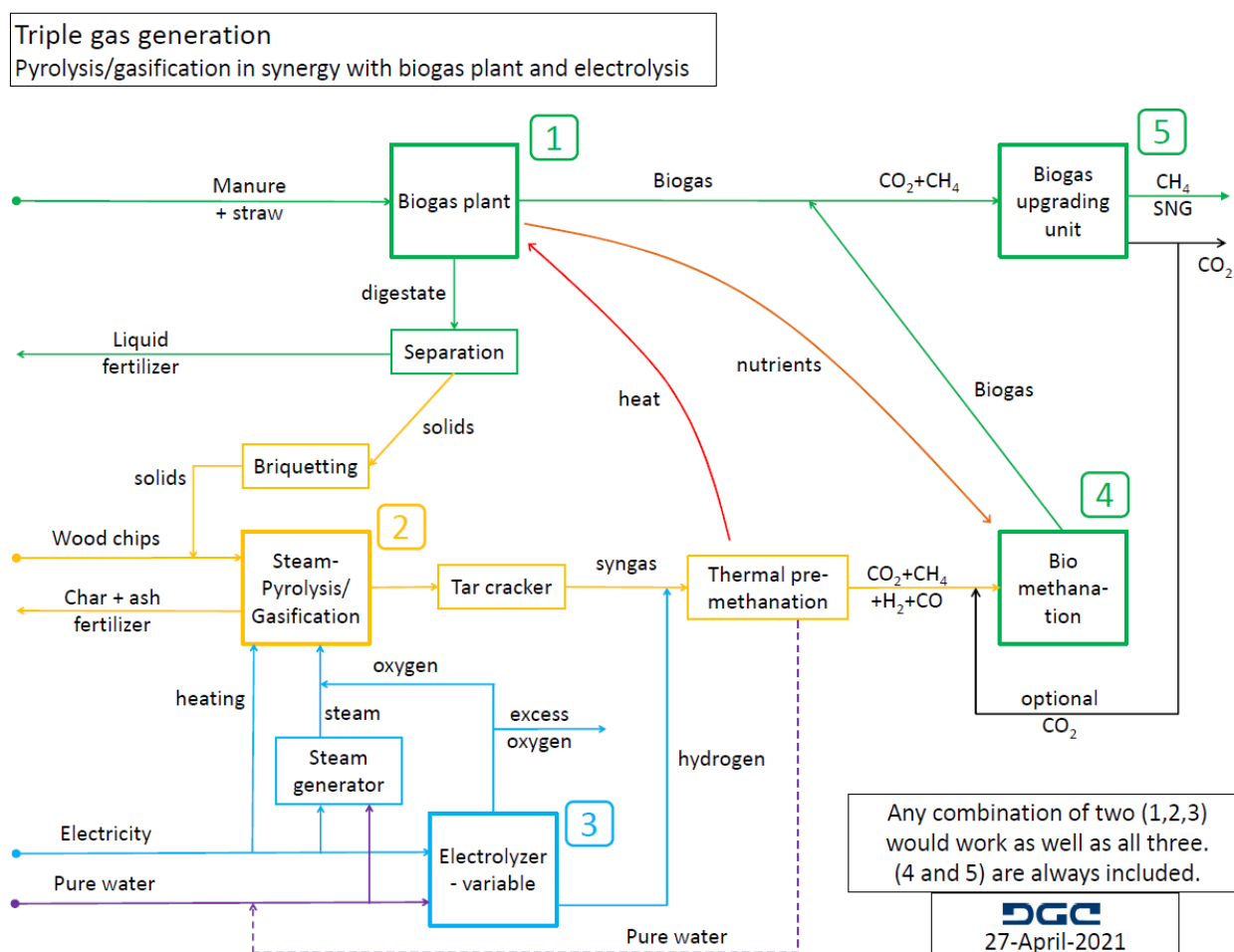
2.3.6. Triple gas generation – en kombination af processer

Pyrolyse/forgasningsprocessen kan kombineres med et biogasanlæg såvel som med et elektrolyseanlæg. Dette vil gøre det lettere at udnytte synergien mellem pyrolyse/forgasning og biogasproduktion, og det vil muliggøre udnyttelse af lave elpriser til fremstilling af billig brint til udnyttelse af CO₂ i pyrolysegasserne. Figur 7 viser den mulige synergi for de tre processer.

Ideen med denne tredobbelte kombination er synergien mellem processerne. Biomasserester fra biogasanlægget (som biomassefibre) kan udnyttes af pyrolyse/forgasningsanlægget. Varme fra pyrolyse/forgasningsanlægget 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 pyrolyse/forgasningsanlægget, og brinten kan bruges i biometaniseringsanlægget til at omdanne større mængder CO₂ til metan.

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

Pyrolyse og forgasning kan på denne måde medvirke til, at biomassen bliver udnyttet fuldt ud til energiformål, mens næringsstoffer stadig kan føres tilbage til dyrkede jorde.

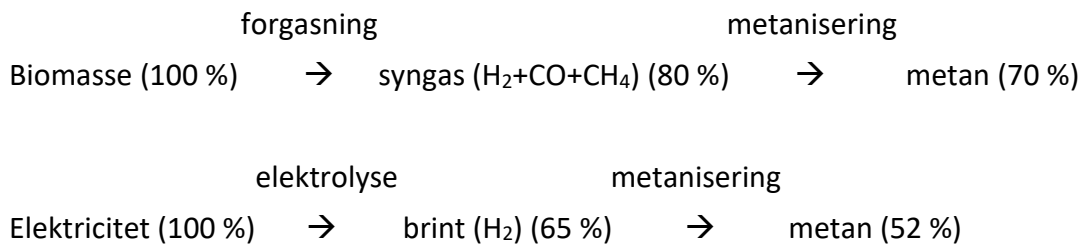


Figur 7 Synergien i kombinationen af pyrolyse/forgasning med biogas og elektrolyse [3]

I den forventede størrelse af anlæggene (~20 MW) er biometanisering sandsynligvis den mest rentable måde at omdanne syngassen 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. Driftsmæssigt er det formodentlig mest rentabelt at sigte efter et større eller mindre overskud af CO₂ (afhængigt af elprisen), som derefter fjernes ved traditionel biogasopgradering.

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 at opnå en højere CO₂-anvendelse, vil den samlede effektivitet falde på grund af tab i elektrolyseprocessen. Biomassen kan ved forgasning og efterfølgende metanisering opnå en højere energivirkningsgrad end der opnås ved elektrolyse og efterfølgende metanisering. Se Figur 8.



Figur 8 Biomasse til metan har en højere energieffektivitet end elektricitet til metan

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 metaniseringskatalysatoren. Desuden skal der løbende holdes et meget præcist forhold mellem H₂ og CO/CO₂, hvilket kan være for kostbart at etablere på forholdsvis små anlæg.

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.

3. Potentialet for gassystemet

3.1. Biomasserne som råmateriale

I nedenstående Tabel 3 ses, hvilke anvendelsesområder forskellige råvarer har inden for metanisering med forskellige metoder.

Biogasanlæg kan ses at være velegnet for hovedsageligt våde biomasser. Det er fortrinsvist gylle og slam samt industriaffald og madaffald, som egner sig til biogas. Der er dog visse biomasser, som også egner sig for pyrolyse/forgasning, fx gyllefibre, halm og energiafgrøder.

De mest oplagte råmaterialer til pyrolyse/forgasning er træflis, træpiller, affaldstræ, halm og separate gyllefibre fra biogasanlæg. Oveni kan der tilføres mindre mængder haveaffald, afskåret vegetation mv.

Når det gælder PtG er elektriciteten en nødvendig råvare, men også kulstoffet er nødvendigt, hvis gassen skal være metan. Potentialet for elektriciteten er i princippet ”uendeligt”, mens kulstoffet skal skaffes hovedsagelig fra biogasanlæg eller pyrolyse/forgasningsanlæg. Her vil kulstoffet være den begrænsende faktor.

Kulstoffet kan i princippet fås fra alle biogasanlæg og pyrolyse/forgasningsanlæg, idet CO₂ vil være et restprodukt herfra, som kan udnyttes.

Tabel 3 Anvendelsesområder for forskellige råvarer til metanisering

Råvarer	Anvendelsesområder		
	Biogas	Syngas til metan	Power to Gas (PtG)
Gylle	X		
Slam fra rensningsanlæg	X		
Slagteriaffald	X		
Sukkerroeaffald	X		
Ensilage	X		
Madaffald	X		
Gyllefibre (forbehandlet)	X		
Gyllefibre (fast stof)		X	
Halm (forbehandlet)	X		
Halm (tørt)		X	
Energiafgrøder (våde)	X		
Energiafgrøder (fast stof)		X	
Træflis		X	
Træpiller		X	
Affaldstræ		X	
Haveaffald		X	
Afskåret vegetation		X	
Elektricitet fra VE			X
CO ₂ fra biogas			X
CO ₂ fra syngas			X
CO ₂ fra cementfabrikker			X
CO ₂ fra kraftværker			X

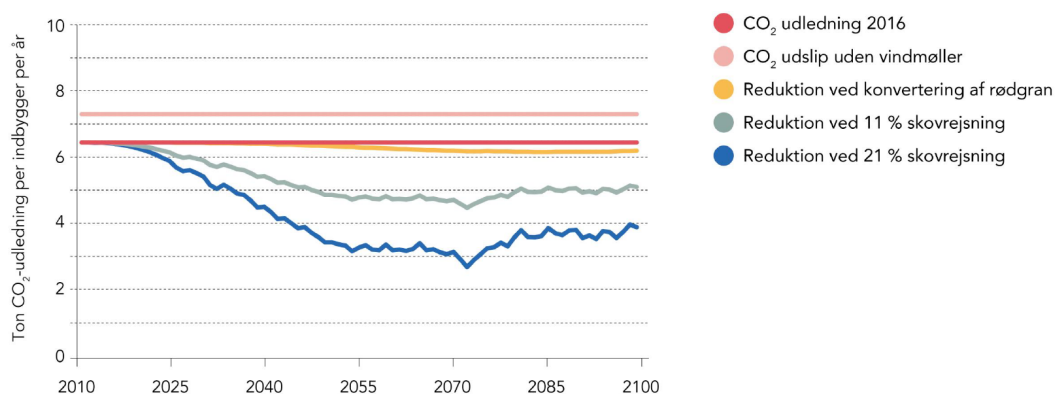
3.2. Energiskov

Med det stigende krav om begrænsning af drivhusgasser 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 er der 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. Begrundelsen for brakjorde er, at der er overproduktion af fødevarer i EU, og ved at tage arealer ud af dyrkning kan man reducere produktionen. Derfor kan anvendelse af brakjorde til energiformål ikke påstås at begrænse fødevareproduktionen.

Tværtimod vil man ved strategisk udlægning af dyrket skov til nyttetræ og energi kunne reducere udvaskningen af næringsstoffer til vandmiljøet. Ved at anlægge dyrkede skove til produktion af dels nyttetræ og dels affaldstræ til energiproduktion ville man kunne forøge potentialet for biomasse til energi betragteligt [6].

På Figur 9 ses, hvilken CO₂-reduktion man kunne opnå ved øgning af det dyrkede skovareal i Danmark med henholdsvis 11 % og 21 % (til 25 % og 35 %).

CO₂-reduktionen ved øgning af skovarealet fra 14% til 25%



Figur 9 Den mulige CO₂-reduktion ved øgning af dyrket skovareal i Danmark [6]

Bevarelse eller forbedring af biodiversiteten skal selvfølgelig tages i betragtning, men ifølge [6] er biodiversiteten i dyrket skov ikke nødvendigvis mindre end i urørt skov. Der er bare en anden biodiversitet (ligesom de menneskeskabte hedeområder i Danmark har en anden bevaringsværdig biodiversitet end de naturlige skovområder, som de erstattede). I [6] foreslås det at udlægge såkaldt mosaikskov, hvilket vil forøge biodiversiteten væsentligt i forhold til ensartet vegetation på grund af, at det er skov med betydelig alders- og artsvariation for bevoksningen. Se Figur 10.



Figur 10 Illustration af mosaikskov [6]

3.2.1. Urørt skov

Det er ofte fremført, at udlægning af urørt skov er løsningen på biodiversitetsproblemet. Som nævnt ovenfor står denne påstand ikke uimodsagt, idet biodiversiteten kan være lige så stor og endog større i dyrket driftsskov [6].

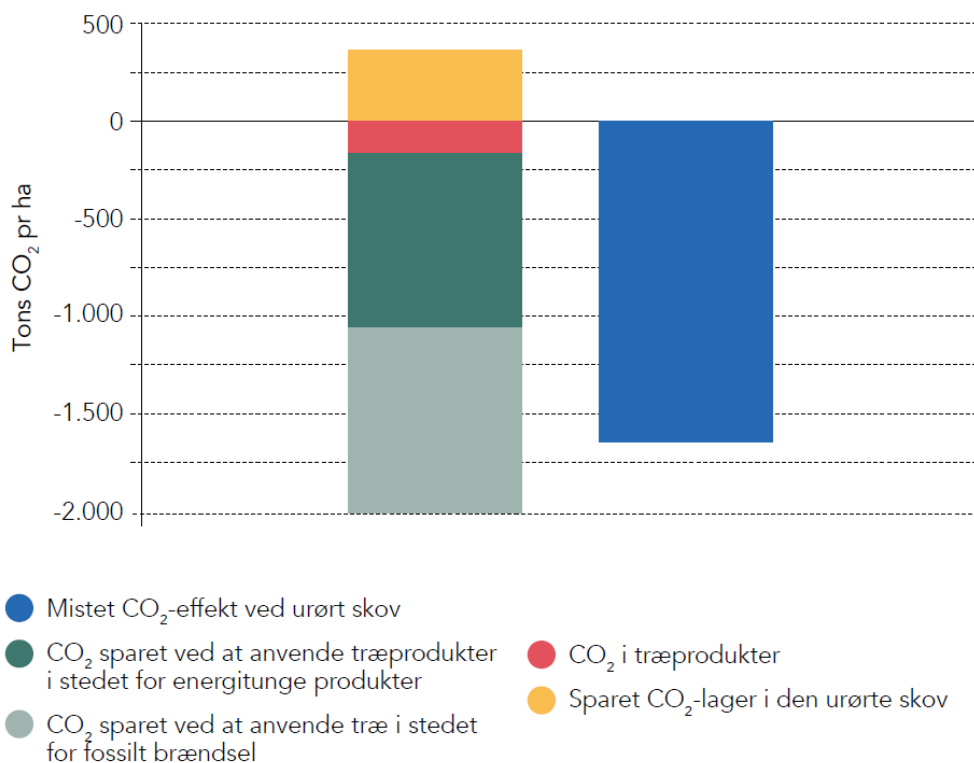
Et andet problem er, at en urørt skov ikke trækker CO_2 ud af atmosfæren bortset fra i opbygningsfasen, hvor der bindes kulstof i træerne. Når skoven kommer i balance, vil udledningen af kulstof fra skoven være lige så stor som optagelsen af kulstof set over tid.

Oven i det kommer, at det ifølge visse forskere viser sig, at en stor del af kulstoffet ikke frigives som CO_2 , men derimod som metan. Disse forskningsresultater viser, at op til 10-20 % af kulstoffet bindes i metan, som udledes i forbindelse med svampes nedbrydning af træstammerne [7].

Da metan er en langt mere alvorlig drivhusgas end CO_2 , betyder det, at en urørt skov i balance vil udsende væsentligt mere drivhusgas, end den optager ved træernes vækst. Dette sidste er ikke

medregnet i nedenstående Figur 11, som sammenligner netto CO₂-regnskab for en dyrket henholdsvis en urørt dansk bøgeskov.

Netto CO₂ regnskab for bøgeskov i drift set i forhold til urørt skov

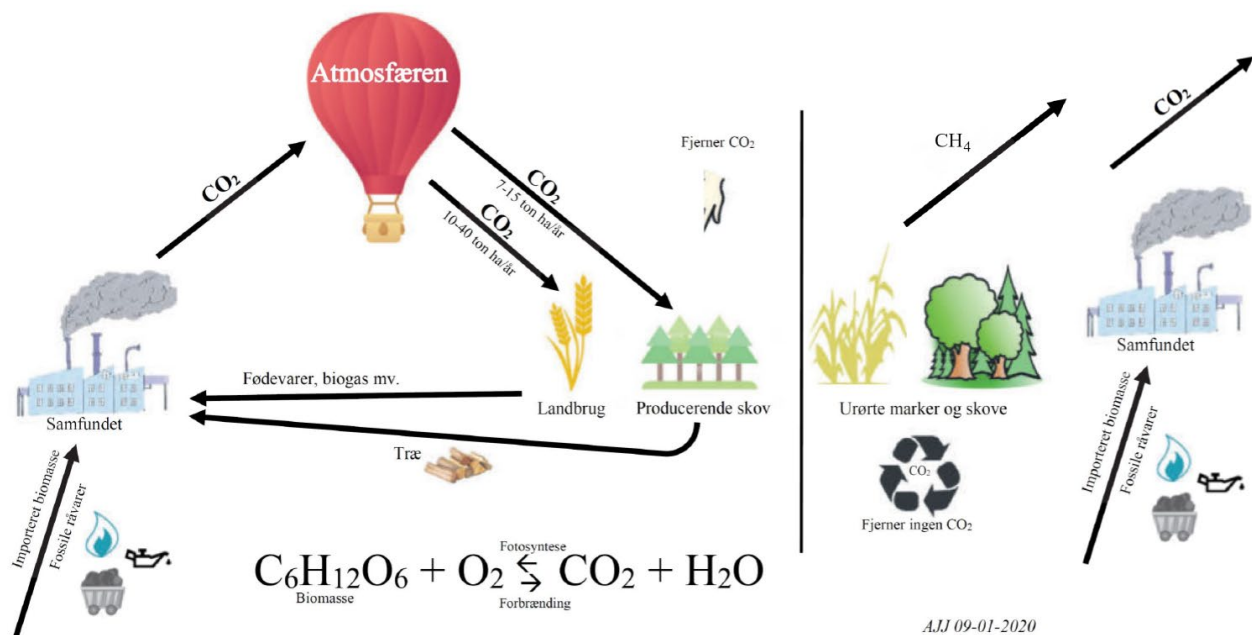


Figur 11 Netto CO₂-regnskab for en urørt østdansk bøgeskov i forhold til en dyrket østdansk bøgeskov [6]

Figur 11 viser, hvordan en dyrket skov er langt mere effektiv til at indfange CO₂ og reducere drivhuseffekten end en urørt skov, og i denne figur indgår end ikke metanemissionen nævnt ovenfor.

Figur 12 viser, hvordan en dyrket skov kan spille sammen med det industrielle samfund og levere energi og materialer til dette, mens en urørt skov vil eksistere ved siden af samfundet og kun levere ekstra drivhusgas til atmosfæren foruden biodiversitet [8].

CO₂ i (u)balance

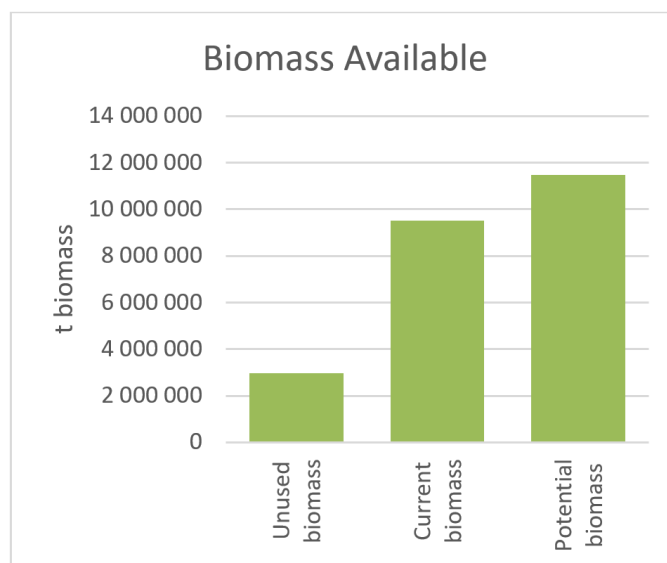


Figur 12 En dyrket skov og landbrug har et samspil med industrisamfundet. Urørte skove udsender store mængder drivhusgas [8].

3.3. Potentialer for produktion af bio-metan til gassystemet.

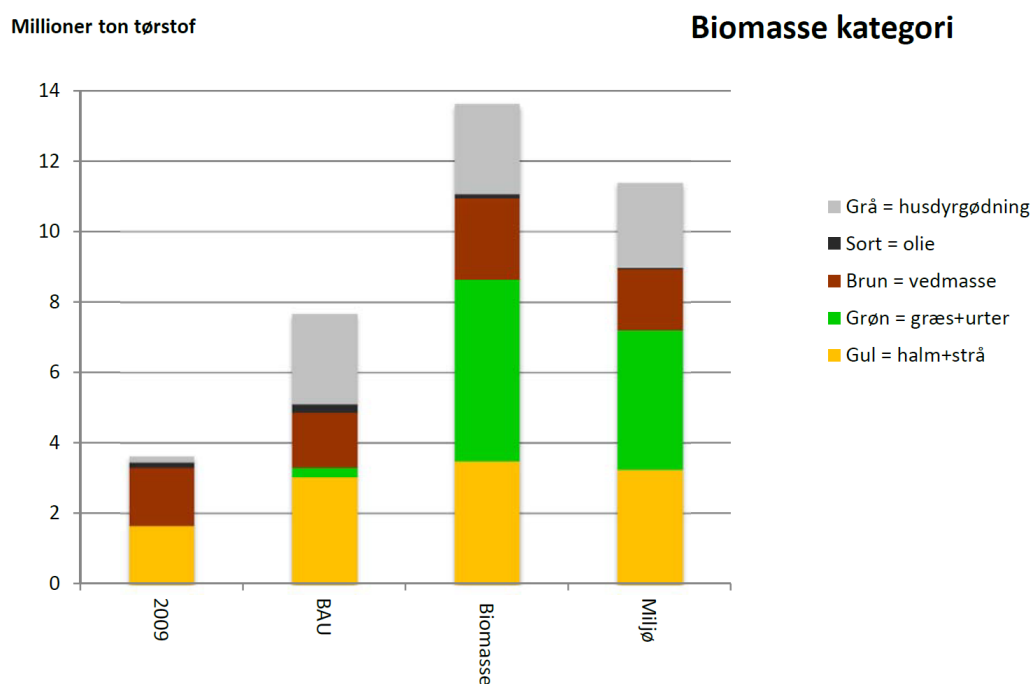
Træ anvendes i høj grad til direkte opvarmning eller til elfremstilling i kraftværker. Hertil sker der en betydelig import af træ. Halm anvendes i voksende grad til at booste biogasanlæg, hvilket er en udmærket anvendelse, men kun ca. halvdelen af energien i halmen kan udnyttes på denne måde. For at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

Stiesdal har i ansøgningen til SkyClean-projektet anført, at potentialet til pyrolyse er mellem 3 mio. og 11,5 mio. tons biomasse pr. år 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. Se Figur 13.



Figur 13 Stiesdals vurdering af den tilgængelige biomasse til pyrolyse [9]

To andre referencer beskriver grundigt mængden af biomasse, som er til rådighed i Danmark. ”Analyse af bioenergi i Danmark” fra 2014 [10] og ”+10 mio. tons-planen” fra 2012 (revideret 2016) [11]. 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. Se Figur 14.

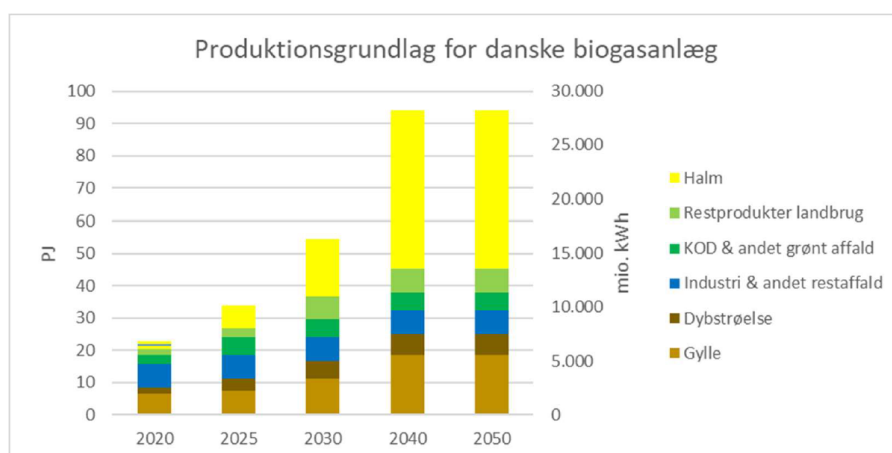


Figur 14 Biomasse tørstof potentiale ifølge ”+10 mio. tons-planen” [11]

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 ud fra [11] er derfor ca. 200 PJ. Heraf bliver der for nuværende anvendt ca. 44 PJ i form af træ-brændsel, ca. 26 PJ produceret bionaturgas (2022/23) og ca. 21 PJ anvendt halm-brændsel [12]. 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 eller forgasning. 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, og 47 PJ i 2022 (eksklusive forbrug i Nordsøen) [12].

En kombination af pyrolyse/forgasning med biogasanlæg – og med elektrolyse ved relativt lave el-priser – 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. Desuden vil der være en overkapacitet, som kunne bruges i transportsektoren for tung transport, skibe og fly.



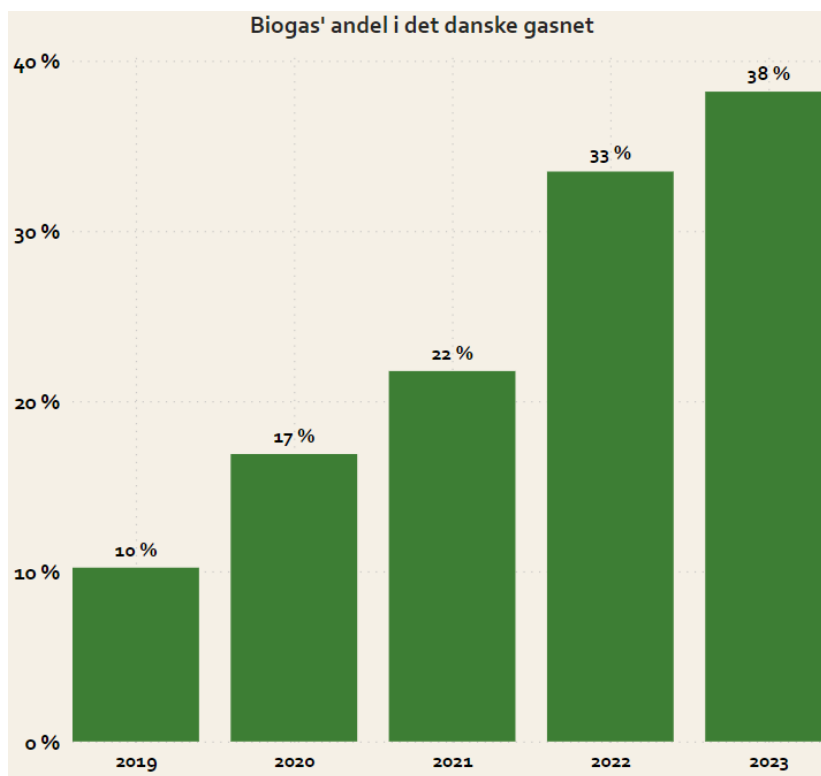
Biomassepotentiale til produktion af biogas frem til 2050. Kilde: Syddansk Universitet og Seges. Se i øvrigt boks med forklaring af de forskellige biomasser.

Forklaring om biomasser i potentialeopgørelse fra Syddansk Universitet

- Halm er et restprodukt fra produktion af korn og græsfrø.
- Gylle er flydende husdyrgødning bestående af afføring og urin fra husdyr
- Dybstrøelse er husdyrgødning og strøelse i form af halm fra især kvægstalde.
- KOD (Kildesorteret Organisk Dagrenovation) er madaffald fra husholdninger.
- Restprodukter landbrug er eksempelvis roetoppe og kasserede afgrøder, der ikke kan anvendes som foder.
- Industriaffald er eksempelvis slagteriaffald, fedtstoffer eller andet fra fødevarerindustrien

Figur 15 Biogas Danmarks vurdering af potentialet for biogas frem til 2050 [13].

Biogas Danmarks vurdering af potentialet i Figur 15 er eksklusive udnyttelsen af CO₂ fra biogassen til metanisering med brint fra elektrolyse. Denne andel kunne forøge potentialet med op til 50 %, dog afhængigt af hvilken driftstid der tillægges elektrolysen, jævnfør bemærkninger om at kun reel VE-el må benyttes til dette. På Figur 16 ses biogas' andel i det danske gasnet.



Figur 16 Biogasandel i det danske gasnet frem til 31-12-2023 [13]

3.4. Konklusion på potentialet for gassystemet

Forskellige referencer giver et betydeligt spænd over estimerede potentialer for biomasser og anvendelse af disse. På baggrund af disse referencer konkluderes det her, at potentialet for biomassebaseret energi i Danmark er i størrelsesordenen 200 PJ/år. Med elektrolyse og anvendelse af overskydende CO₂ fra brugen af disse biomasser kan der produceres yderligere ca. 100 PJ/år i form af flydende og gasformige brændsler (eksklusive ren brint og ammoniak).

Produktionen af bio-SNG fra syngas vil under alle omstændigheder skulle konkurrere med produktion af olier og andre flydende brændsler fra biomassen. 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 kunne bidrage til en væsentlig forøgelse af bionaturgaspotentialet ud over biogassen.

Af den samlede brændselsmængde på ca. 300 PJ/år fra biomasse og elektrolyse tilsammen vil en stor del kunne konverteres til metan ved metanisering som beskrevet i de foregående afsnit. I nedenstående tabel er der skønnet en mulig produktion af biobaseret metan (inklusive elektrolyse) på ca. 150 PJ/år. Det er det *tredobbelte* af det nuværende naturgasforbrug (2022, eksklusive forbrug i Nordsøen) og *seks gange* den nuværende bionaturgasproduktion, og det er sideløbende med muligheden for en tilsvarende energimængde til flydende brændsler og varme.

Tabel 4 viser det nuværende forbrug og produktion af forskellige brændsler samt et skøn over potentialer for biomasse og for mulig bio-SNG-produktion.

Det skal nævnes, at den skønnede metanproduktion baseret på elektrolyse (PtG) er usikker og kan variere pga. elpriser.

Tabel 4 Nuværende forbrug og potentiale for produktion af bio-SNG

	PJ/år
Danmarks årlige brutto energiforbrug (ca.) [12]	750
Naturgasforbrug (eksklusive forbrug i Nordsøen) [12]	47
Nuværende anvendelse af dansk træ til energi [12]	44
Nuværende biogasproduktion til bionaturgas (2022/23) [12]	26
Nuværende halmforbrug [12]	21
"Lavthængende frugter" nem ekstra biomasse [9]	54
Biomassescenariet +10 mio. tons-planen, biomasse i alt [11]	245
BAU-scenariet +10 mio. tons-planen, biomasse i alt [11]	135
Miljøscenariet +10 mio. tons-planen, biomasse i alt [11]	200
I denne rapport: skønnet mulighed for dansk biomasse i alt (som Miljøscenariet)	200
Skønnet mulig ekstra brændselsproduktion via PtX (eksklusive ammoniak)	100
Skønnet mulighed for brændselsproduktion fra biomasse	200
Skønnet mængde bio-metan som kunne produceres af biomasse	100
Skønnet mængde bio-metan som kunne produceres af PtG (kan variere)	50

4. Konkurrerende produkter og processer

Potentialet for metanisering og dermed for den mulige tilførsel af bio-SNG til naturgassystemet herfra afhænger i høj grad af, i hvilket omfang teknologien skal konkurrere med andre teknologier om biomassen.

Produktet ved metanisering er metan. Imidlertid kan de råvarer, som anvendes ved metanisering, også anvendes til fremstilling af andre konkurrerende produkter. Sådanne anvendelser vil logisk nok reducere potentialet for metan/bio-SNG.

4.1. Flydende brændsler mm.

4.1.1. Bio-metanolproduktet

Bio-metanol er teknisk set et relevant muligt produkt fra pyrolyse eller forgasning. 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 [14]. 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 [14] er den sædvanlige størrelse af metanolanlæg 1,2 mio. tons metanol/år. Det svarer til omkring 800 MW metanol. Biomassetilførslen til et pyrolyse- eller forgasningsanlæg vil være i størrelsesordenen 20 MW. Den mulige metanolproduktion vil være under halvdelen af dette. Det betyder, at den mulige metanolenhed i et sådant anlæg 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 disse ”små” anlæg i betragtning af brug af højteknologi på små enheder og nødvendigheden af konstant brintforsyning uanset varierende elpriser til elektrolyse.

4.1.2. 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, uanset elpriserne, medmindre brintlagring er inkluderet. For eventuel bio-olieproduktion bør de samme overvejelser gøres som for metanol om højteknologi på små enheder.

4.1.3. Metan som mellemprodukt

Imidlertid kan man også forestille sig, at andre produkter vil kunne fremstilles ud fra metan og naturgas fra gasnettet. Hvis metanol og/eller flybrændstof eller biodiesel skal fremstilles fra grønne ressourcer, er det usandsynligt, at dette vil ske på forholdsvis små fabrikker baseret på lokale biomasser. Sådanne fabrikker kræver avanceret teknologi, som er delvist uafhængig af størrelse, og små anlæg i størrelsen 20-50 MW input vil formodentlig være urentable, da den avancerede teknologi er relativt dyrere.

Ifølge [14] er den typiske minimumsstørrelse for rentable metanolfabrikker i størrelsen 800 MW. I Qatar ligger verdens største GTL-anlæg (Gas To Liquid) [15], som er i størrelsen 20 GW, hvilket er på størrelse med hele Danmarks energiforbrug [12]. Produkterne er her benzin, diesel, flybrændstof og andre flydende produkter fremstillet ud fra naturgas.

Hvis der derimod er hundredvis af ”små” rentable fabrikker til fremstilling af bio-SNG, fx biogas-anlæg, pyrolyseanlæg, forgasningsanlæg, PtG-anlæg baseret på VE-el o.l., kan der fra disse samles store mængder bio-SNG/e-metan til distributionsnettet for gas, hvorfra gassen videre kan samles i transmissionsnettet og transporteres til enkelte store GTL-fabrikker til fremstilling af flydende brændstoffer baseret på biomasse. Se figur 17

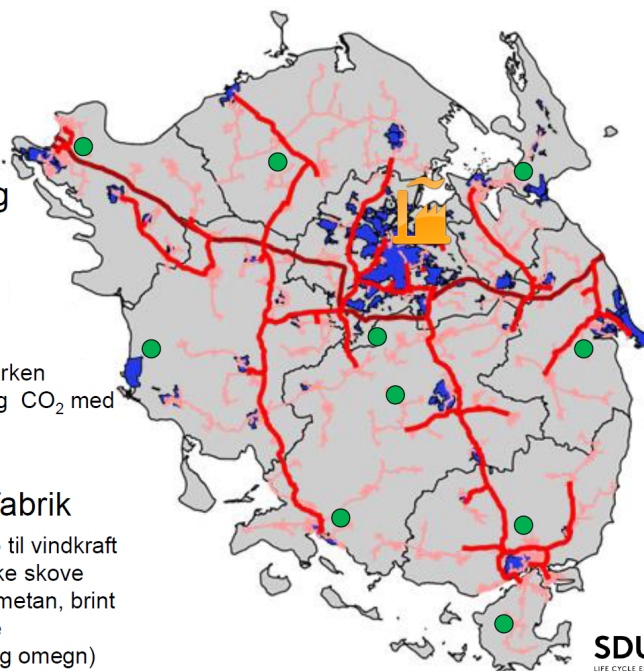
Nordic GTL 2030 - Geografisk eksempel: Fyn

Decentral biogas m. metanisering

- ☐ Ca. 10 biogasanlæg fordelt i landskabet
- ☐ Behandler al fynsk gylle og halm
- ☐ Behandler KOD og anden organisk affald fra husholdning, detailhandel og industri
- ☐ Fordeler N, P og K optimalt i landbruget
- ☐ Giver svært nedbrydeligt kulstof tilbage til marken
- ☐ Metaniserer biogas-CO₂ og anden tilgængelig CO₂ med brint
- ☐ Leverer fjernvarme til de fynske købstæder

Central gasturbine og brændstoffabrik

- ☐ Central gasturbine som stand-by & back-up til vindkraft
- ☐ Biomasse CHP med overskudstrø fra fynske skove
- ☐ Central brændstof fabrik med feedstock af metan, brint og CO₂ fra affaldsforbrænding og biomasse
- ☐ Procesvarme til Fjernvarme Fyn (Odense og omegn)



Figur 17 Eksempel på et tænkt system på Fyn med lokale biogasanlæg og en centralt GTL-fabrik [16]

Herved vil gasnettets distributionsnet kunne fungere også som ”kollektionsnet”, som samler fra mange mindre bio-SNG-anlæg og leverer til store fabrikker, samtidigt med at nettet også er et distributionsnet, som leverer metan til private og industrielle kunder.

Konkurrerende produkter vil derfor også kunne *forøge* potentialet for metan/bio-SNG som et mellemprodukt fra biomasse til flydende brændsler, hvor gasnettene er transportveje for dette mellemprodukt.

4.2. Kulstof som den knappe ressource

Det er nævnt i videnskabelige kredse (bl.a. af Henrik Wenzel fra Syddansk Universitet), at den knappe ressource i fremtiden ikke er energi, men derimod kulstof (C), idet kulstof skal indgå i de VE-brændstoffer, vi skal producere ud fra elektricitet. Men da fossile energikilder er udelukket, vil disse ikke kunne fungere som kulstofkilde.

Når el-energi skal omdannes til flydende eller gasformige brændstoffer, er der flere muligheder. For det første kan man blot elektrolysere og danne brint, som derefter kan anvendes som brændstof. Brint har imidlertid en række fordyrende udfordringer i forhold til andre brændsler: det er meget flygtigt, vanskeligt at holde indespærret, kræver meget høje tryk for opbevaring, kræver meget energi til komprimering, er meget eksplosionsfarlig, indeholder relativt lidt energi pr. volumenenhed (kun 1/3 af metan), osv. Desuden skal der etableres ny infrastruktur for brint, mens metannettet eksisterer i form af det nuværende naturgasnet.

Der er derfor fokus og bestræbelser på at anvende brinten efter elektrolysen også til produktion af andre kemiske forbindelser, som kan fungere som mere velegnede energibærere.

Ammoniak (NH_3) er en mulighed, men der er visse problemer, idet energitætheden er forholdsvis lav (mindre end det halve af andre flydende brændsler), og ammoniakdampe er giftige i større koncentrationer. Ammoniak kræver desuden ofte et andet brændsel som tændkilde [17]. Nedenfor viser Tabel 5 egenskaber for motorbrændstoffer inklusive ammoniak.

Tabel 5 Egenskaber for motorbrændstoffer [17]

	Energy content (LHV) [MJ/Kg]	Energy content (LHV) [MJ/L]	Density [kg/m ³]	Octane [RON]	Flame-velocity [m/s]	Flammability-limits [vol/%]	Minimum Ignition Energy [mJ]
Cooled Ammonia (Liquefied)	18.6	12.69 (1 atm, -33°C)	682	>130	0.067	15-28	680
Compressed Ammonia (Liquefied)	18.6	11.65 (300 bar, 25°C)	626	>130	0.067	15-28	680
Cooled Hydrogen (Liquefied)	120	8.5 (1 atm, -253°C)	70.85	>130	3.25	4.7-75	~0.016
Compressed Hydrogen (gaseous)	120	2.46 (300 bar, 25°C)	20.54	>130	3.25	4.7-75	~0.016
Diesel (n-dodecane)	44.11	32.89 (1 atm, 25°C)	745.7 ^[12]	<20	~0.80	0.43-0.6	~0.23
Gasoline (iso-octane)	44.34	30.93 (1 atm, 25°C)	697.6	100	~0.58 (RON 90-98)	0.95-6 (RON 90-98)	1.35 (RON 90-98)
Methanol	19.90	15.65 (1 atm, 25°C)	786.3	108.7	0.56	6.7-36	~0.14
Ethanol	26.84	21.07 (1 atm, 25°C)	785.1	108.6	0.58	3.3-19	0.65

-Note, this table is for comparison purposes only – not all values are obtained from experimental studies.

De processer, der fokuseres mest på, er omdannelse af brint og kulstof til forskellige C_xH_y-forbindelser, som minder om de nuværende fossile brændstoffer, og som har de største energitætheder. Det er oplagt at se på de brændstoffer, som er mest velegnede for motorer og turbiner.

4.2.1. Hvor skal vi få kulstoffet fra?

Der fokuseres i øjeblikket meget på teknologier med PtX. Men der fokuseres ikke så meget på, hvor kulstoffet skal komme fra til disse processer. Man siger fx, at det kan komme fra kraftværkerne, men det dannes jo ikke på kraftværkerne. Det skal først ind i kraftværket, før det kan komme ud af skorstenen. Og her kommer biomassen ind i billedet som leverandør af energi til kraftværket og af CO₂ ud af kraftværket. Som nævnt tidligere, vil forgasning og pyrolyse ligeledes kunne levere CO₂ til PtX-teknologien.

4.2.2. Hvordan binder man mest el-energi i halen på et kulstofatom?

Hvis kulstof i fremtiden viser sig at være den knappe ressource, er det nødvendigt at se på, hvordan man binder mest muligt energi i halen på et kulstofatom. Kulstoffet vil være i et kredsløb, hvor det for størstedelens vedkommende emitteres fra udstødningen af køretøjer, skibe og fly, hvor der ikke

er mulighed for at opsamle kulstoffet (CO_2). Det vil derfor komme ud i atmosfæren og derfra retur til træer og andre planter, som opsuger CO_2 'en via fotosyntese.

Fra biomassen skal kulstoffet derefter udnyttes via forgasning/pyrolyse eller via skorstenen fra kraftværker. Den første metode er dog langt den mest oplagte, idet omvejen via et kraftværk vil være teknisk mere besværlig og mindre effektiv.

Den knappe ressource kulstof skal derfor udnyttes bedst muligt i kredsløbet via atmosfæren, og der skal derfor i den valgte PtX-teknologi bindes mest muligt energi i halen på kulstofatomet for hver cyklus af kulstofatomet:

Biomasse $\rightarrow$ forgasning $\rightarrow$ PtX $\rightarrow$ brændstof $\rightarrow$ forbrænding $\rightarrow$ CO_2 $\rightarrow$ fotosyntese $\rightarrow$ biomasse.

Der fokuseres i det følgende på tre produkter fra PtX: metan (CH_4), metanol (CH_3OH) og kerosin, som kan repræsenteres af molekylet $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$. Kerosin består af en blanding af en række komponenter af formen $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ og anvendes som flybrændstof. I det følgende ses på, hvor meget ekstra energi der bindes på kulstofatomet, når det omdannes til en af de tre produkter, hvor udgangspunktet er træ. Træ kan repræsenteres af "træmolekylet" $\text{CH}_{1.45}\text{O}_{0.63}$. Kerosin kan på tilsvarende vis repræsenteres af "molekylet" $\text{CH}_{2.167}$.

Tabellen herunder viser resultater af beregninger.

Tabel 6 Relativ brændværdi pr. C-atom i forskellige brændsler

Brændsel	Kemisk betegnelse	"Molvægt"	LHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kmolC)	LHV pr. C-atom (%)
Træ	$\text{CH}_{1.45}\text{O}_{0.63}$	23.55	18.9	445	100
Metan	CH_4	16.05	50	803	180
Metanol	CH_3OH	32.05	19.93	639	144
Kerosin	$\text{CH}_{2.167}$	14.2	43.1	612	138

Det ses i tabellen, at med træ som reference vil PtG i form af metanproduktion give en forøgelse af energiindholdet med 80 % pr. kulstofatom, mens PtX, hvor X er kerosin eller metanol, kun vil forøge energiindholdet med ca. 40 %. Vi vil derfor få ca. den dobbelte udnyttelse af kulstofkredsløbet ved at bruge metan som energibærer fremfor andre mulige PtX-brændsler.

4.2.3. Metan i luftfart og skibstransport

De flydende brændstoffer, som vi kender fra olieindustrien, er utroligt velegnede til motorer og andre processer, hvor energi skal opbevares og omdannes i industri og transport.

Verden er imidlertid ved at ændre sig, og transport vil i fremtiden i meget høj grad være baseret på elektricitet, enten direkte eller med anvendelse af batteriteknologi.

Til visse anvendelser vil det imidlertid være vanskeligt at bruge elektricitet i større udstrækning. Det gælder fly, skibe og eventuelt langturstransport med lastvogn. Med PtX-teknologien vil det være muligt at danne brændstoffer, som er direkte erstatninger for fossile brændstoffer. Men ved at danne direkte erstatninger for de fossile brændstoffer og anvende dem, vil vi trække en del af de øvrige ulemper med over i en ny industri (fx partikler, NO_x og andre emissioner).

Metan har langt færre ulemper i form af emissioner og vil i høj grad kunne erstatte de fossile brændstoffer i disse industrier og anvendelser. Biometan i form af LBG eller CBG vil i høj grad kunne erstatte andre brændsler i vejtransport og i skibe. Selv i flyindustrien er det vist, at LNG er en mulighed. Se DGC-rapporten "The technical application of liquefied methane as an aviation fuel" [18].

I den nævnte rapport estimeres det endvidere, at produktion og anvendelse af bio-kerosin som flybrændstof kun vil reducere drivhuseffekten fra flyindustrien med ca. 27 %, idet CO₂ kun udgør ca. 25 % af drivhuseffekten herfra, hvor resten udgøres af kondensstriber og dannede fjerskyer samt NO_x. Ud fra disse estimater ville anvendelse af *fossil naturgas* til flyindustrien reducere drivhuseffekten med ca. 50 %, mens anvendelse af *biometan* ville reducere med ca. 70 %.

Hvis disse estimater holder, vil det kun have begrænset effekt at udvikle en PtX-teknologi til fremstilling af bio-kerosin til flyindustrien, idet drivhusgasreduktionen for anvendelsen vil være minimal. Man skal enten vælge helt at friholde flyindustrien fra ændring af brændstoffet, men begrænse trafikken med flyafgifter, eller man skal indføre LBG (flydende biometan) som brændstof og få en 70 % reduktion i drivhusgasser.

5. Referencer

- [1] Adobe Stock, 2024
- [2] *Technologies for gasification and methanation in Denmark*, project report, DGC, 2012
- [3] *Pyrolyse, Relation til gasnettet*, DGC-rapport, oktober 2022
- [4] *Development of the MILENA gasification technology for the production of Bio-SNG*, C.M. van der Meijden, ECN, 2010
- [5] *Renewable and Low Carbon Synthetic Gases*, Gasification Whitepaper, EBA, 2021
- [6] *Klimaskoven - et effektivt redskab til håndtering af CO₂-problemet*, E.M. Madsen, A.T. Nielsen, P. Madsen, P. Hilbert, Forlaget Esben Møller Madsen, 2019
- [7] *Methanogenic activity of woody debris*, V. A. Mukhin, P. Y. Voronin, Russian Journal of Ecology, May 2009.
- [8] Ammongas annonce, Jyllandsposten, 09-01-2020
- [9] Stiesdals ansøgning til SkyClean projektet, EUDP, 2021
- [10] *Analyse af bioenergi i Danmark*, Energistyrelsen, 2014
- [11] *+10 mio tons-planen*, Københavns Universitet & Århus universitet, 2012 (revideret 2016).
- [12] Energistatistik 2020, 2021, 2022, Energistyrelsen
- [13] Biogas Danmark, Web-site, 2024
- [14] *Technology Data, Renewable fuels*, Energistyrelsen & Energinet, 2017
- [15] Shell Qatar, Pearl GTL overview, Web-site, 2023
- [16] Fremtidens brug af biomassen, Nordisk GTL, præsentation, Henrik Wenzel, 2019
- [17] *Ammoniak i CI motorer*, Jesper Schramm, DTU, juni 2023
- [18] *The technical application of liquefied methane as an aviation fuel*, DGC-rapport, november 2020

6. Definitioner

Pyrolyse:	Omdannelse og spaltning af organisk materiale ved opvarmning uden tilførsel af ilt.
Forgasning:	Omdannelse og spaltning af organisk materiale til gas og aske ved opvarmning med eller uden tilførsel af ilt.
Pyrolysegas:	Den gasformige del af pyrolyseprodukter før afkøling.
Forgasningsgas:	Den gasformige del af forgasningsprodukter før afkøling.
Bionaturgas:	Opgraderet biogas, som kan tilføres naturgasnettet.
Biometanisering:	Omdannelse af syngas til biogas ved en fermenteringsproces svarende til processen i et biogasanlæg.
Biometan:	Metan hvis oprindelse er biomasse.
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.
Syngas:	(Syntesegas) bestående af en hvilken som helst blanding af CO, CO ₂ , H ₂ og CH ₄ , som kan omdannes og sammensættes til andre brændsler ved kemiske eller biologiske processer.
E-metan:	Elektrometan, metan dannet af H ₂ fra elektrolyse samt CO ₂ fra anden kilde.
LNG:	Liquefied natural gas, fordråbet naturgas ved ca. -162 °C.
LBG:	Liquefied biogas, fordråbet bionaturgas ved ca. -162 °C.
CBG:	Compressed biogas, komprimeret bionaturgas ved ca. 200-250 atmosfæres tryk.