



CIP fonden

Forretningsmodel og værdikæder for biokul

Baggrundsnotat nr. 4

Januar 2024

Baggrundsnotat om forretningsmodeller og værdikæder bag biokul

Indholdsfortegnelse

1. Opsummering	3
2. Værdikædeovervejelser	3
2.1 Simpel værdikæde for CO ₂ -fangst og -lagring med biokul.....	3
2.2 Udvidet værdikæde for CO ₂ -lagring med biokul.....	4
2.3 Bæredygtig værdikæde	5
2.4 Værdikæde med salg af klimakreditter.....	6
3. Samlokaliseringmuligheder	7
3.1 Samlokaliseringmuligheder	7
3.2 Samlokaliseringmuligheder ved biokulproduktion	7
3.3 Eksempler på samlokalisering.....	9
3.4 Værkernes forventede placering og størrelse i Danmark.....	10
3.5 Den fremtidige udbygning	11
4. Ejerskabsformer og investorer	11
Kilder	14

Dette baggrundsnotat beskriver forretningsmodeller og værdikæder for fangst og lagring af CO₂ med biokul i landbruget, herunder overvejelser i forhold til potentielle investorer og optimal placering af værkerne.

Lagring af CO₂ med biokul i landbruget kræver et samarbejde på tværs af brancher og leverandører, som ikke nødvendigvis arbejder sammen i andre sammenhænge. Det er derfor helt nødvendigt at skabe en forretningsmodel, der tilgodeser alle dele af værdikæden, før der kan skabes en bæredygtig model.

Disclaimer

Informationen i denne rapport er af generel karakter og ikke beregnet til at udgøre professionel rådgivning og bør ikke behandles som en erstatning for specifik juridisk eller professionel rådgivning. CIP Fonden afgiver ingen erklæringer eller garantier med hensyn til fuldstændigheden eller nøjagtigheden af informationen heri og påtager sig ingen forpligtelser eller ansvar med hensyn for tab, direkte eller indirekte, der kan opstå som følge af investeringsbeslutninger baseret på oplysninger fremlagt i denne rapport. CIP Fondens formål er at udarbejde forslag og løsninger, der understøtter samfundets bæredygtige udvikling.

1. Opsummering

- Det er afgørende, at landbruget får betaling for sprede biokul på marken, hvis der skal skabes en økonomisk bæredygtig model for CO₂-fangst og -lagring med biokul i landbruget. Det kan fx ske via salg af klimacertifikater, hvor landbruget får del i indtjeningen og/eller certifikatet.
- Der er store samlokaliseringsevner i forbindelse med værket placering, herunder især i forhold til at minimere transporten af biomasseinputtet, samt at kunne udnytte overskudsvarmen og energiprodukterne fra processen mest optimalt. For at sikre både professionel styring af værkerne, skalafordele og for at holde driftsudgifterne nede, så kræver det dog, at værkerne får en vis volumen.
- Pyrolyseværket kræver i sig selv en stor initial investering at etablere og industrividen at drive optimalt. På mange måder minder det om de samme udfordringer og overvejelser, som biogasbranchen tidligere har stået med, og det er derfor nærliggende at bygge videre på deres erfaringer. Her består ejerskabet typisk af en majoritetsejer i form af et energiselskab og en minoritetsejerkreds i form af landbruget, som dermed får del i eventuel upside i selskabet.

2. Værdikædeovervejelser

2.1 Simpel værdikæde for CO₂-fangst og -lagring med biokul

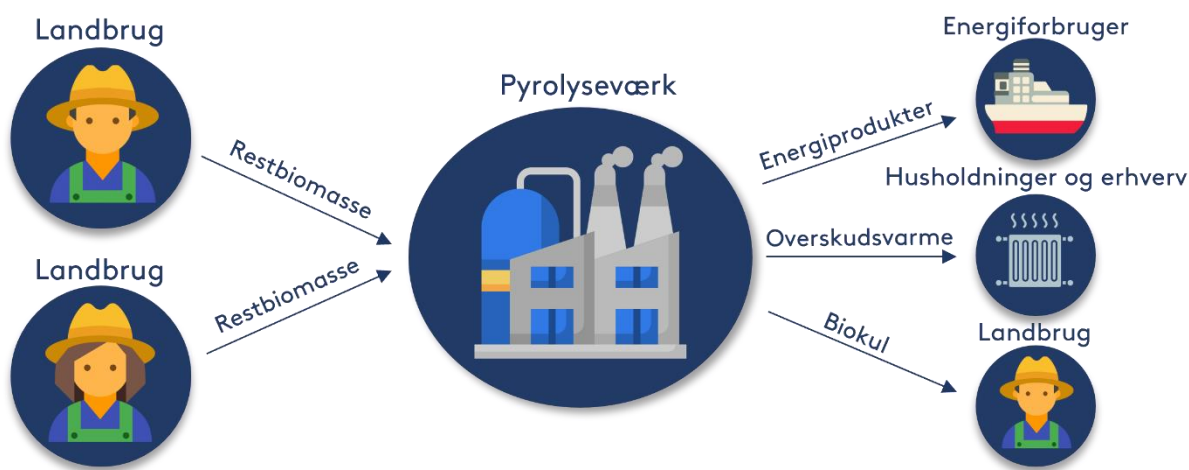
Biokul kan produceres med flere forskellige inputs, og der er derfor flere mulige scenarier for, hvordan værdikæden kan tage sig ud, ligesom flere forskellige aktører kan indgå i værdikæden.

Forenklet set vil værdikæden typisk bestå af:

- en biomasseleverandør, såsom landbrug, slagteri eller spildevandsanlæg
- et pyrolyseværk, hvor biomassen omdannes til bl.a. biokul
- aftagere af energiprodukterne fra pyrolyseværket i form af fx energisektoren
- aftagere af biokul i form af fx landbruget
- aftagere af overskudsvarme fra pyrolyseværket, fx industri eller husholdninger, som fjernvarme

I det simple eksempel sælger et eller flere landbrug restbiomasse, fx halmrester, til et pyrolyseværk, som ved hjælp af pyrolyse producerer biokul og et energiprodukt. Biokullet kan herefter spredes på en mark hos et landbrug for at udnytte lagringspotentialen, mens energiproduktet kan sælges til en energiforbruger, fx luftfart eller rederi.

Figur 1. Simpel værdikæde for produktion af biokul



Kilde: CIP Fonden.

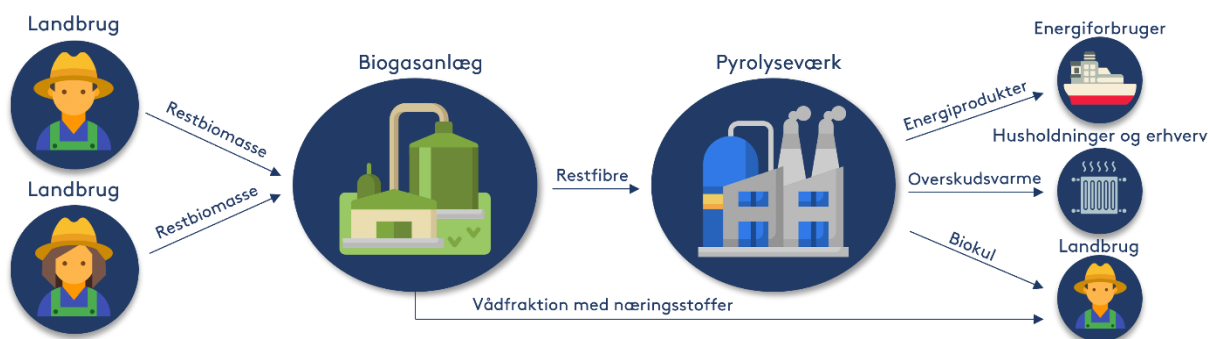
2.2 Udvidet værdikæde for CO₂-lagring med biokul

Værdikæden kan være mere eller mindre simpel alt efter, hvor mange produkter processen skal generere, hvor cirkulær processen skal være, og hvor mange runder upcycling biomassen skal igennem.

I forhold til at høste yderligere gevinster økonomisk og klimamæssigt kan det være en fordel, at processerne bliver så cirkulære som mulige, og at biomassen bruges i flere led, inden det ender i pyrolyseværket. Dermed har pyrolyseværker den store fordel, at de kan sættes ind som sidste stop for biomasseresterne i en eksisterende biomasseværdikæde, hvor man ellers står med et biomasseprodukt, der i dag ikke udnyttes på andre måder.

Et eksempel kan være at indtænke pyrolyseværkerne i samspil med eksisterende biogasanlæg. Her vil landbruget levere restbiomasse til et biogasanlæg, som efter afgasning separerer den tilbageværende biomasse i en væskefraktion og en fiberfraktion. Væskefraktionen er relevant som gødningsprodukt i landbruget, mens fiberfraktionen er relevant for pyrolyseværkerne, som kan producere biokul og energi på basis af fiberfraktionen.¹

Figur 2. Udvidet værdikæde med biogasanlæg



Kilde: CIP Fonden.

Ligesom værdikæden inden pyrolyseværket kan udvides, så kan det også ske i den efterfølgende proces. Pyrolysegasserne, som skabes i pyrolyseværket sammen med biokullet, kan bruges til mange forskellige formål – særligt i takt med den teknologiske udvikling. Og det kan på sigt forbedre den økonomiske case, hvis der kan produceres højværdienergiprodukter.

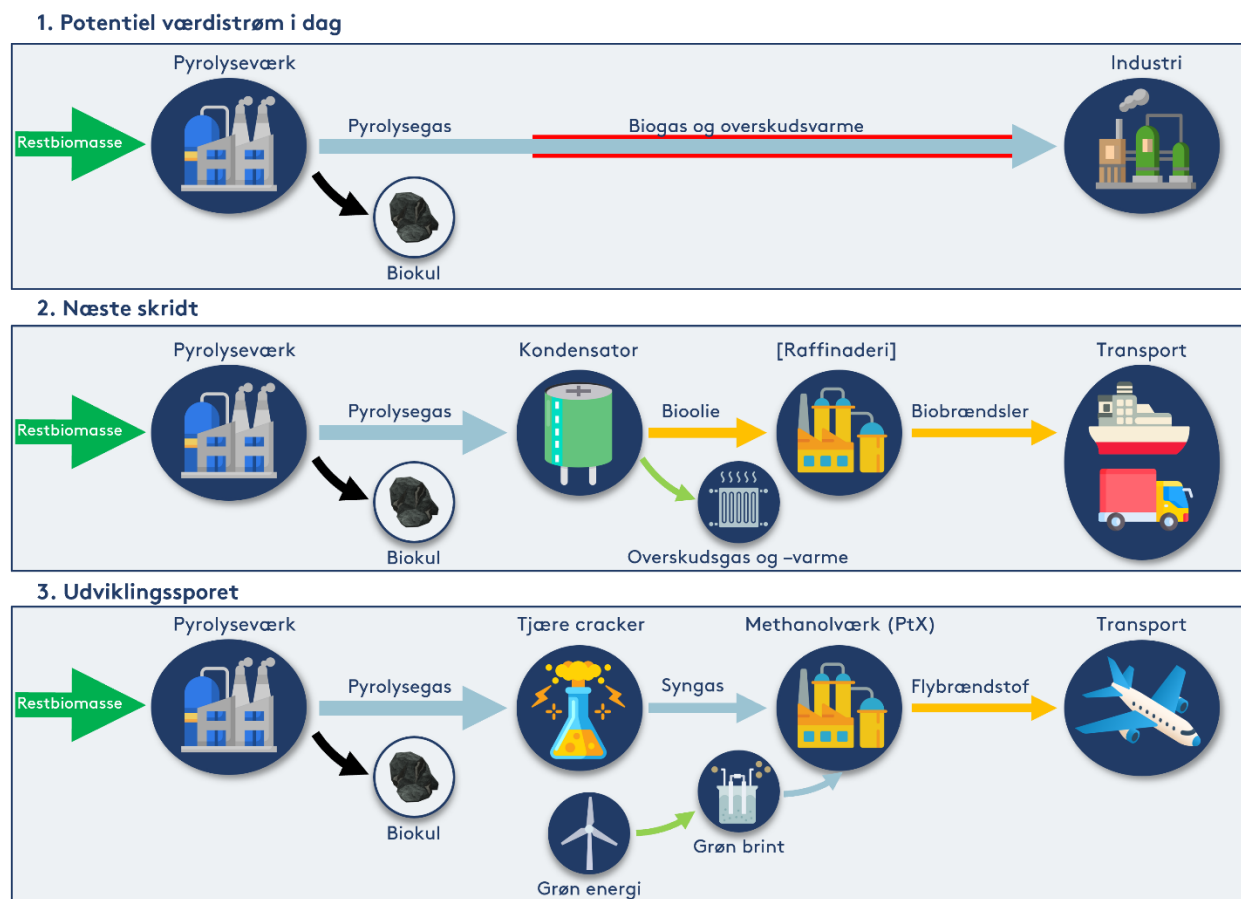
I dag kan pyrolysegassen bedst anvendes til varme og fx benyttes i nærliggende biogasanlæg til opgradering af biogassen eller anden nærliggende industri med et opvarmningsbehov. Overskudsvarmen kan også bruges til opvarmning via eksempelvis fjernvarmenettet.

I takt med den teknologiske udvikling vil der opstå nye udnyttelsesmuligheder. Et af de næste skridt bliver at kondensere gassen til bioolier, der kan videreforarbejdes til biobrændsler, mens overskudsgas og -varmen kan bruges til opvarmning som i dag.

På længere sigt opstår endnu flere muligheder, og gassen kan fx forarbejdes til syngas, der kan viderebehandles med brint til methanol (PtX) og flybrændstoffer. Det kræver dog, at der findes grøn brint og ptx-anlæg.

I selve sammensætningen af værdikæden er det derfor vigtigt både at have øje for biomasseleverandøren og den efterfølgende aftager af energiproduktet, så man sikrer den bedst mulige udnyttelse og værdiskabelse. Det afhænger af de teknologiske muligheder, omkostningerne og lokaliseringen, som vi kommer ind på senere.

¹ SEGES Innovation (2023)

Figur 3. Eksempler på værdistrømme for pyrolysegassen

Kilde: CIP Fonden pba. Stiesdal A/S.

2.3 Bæredygtig værdikæde

Fælles for alle værdikæderne for produktion af biokul er, at de indebærer et samarbejde på tværs af brancher og leverandører, som ikke nødvendigvis arbejder sammen i andre sammenhænge.

For at biokulproduktion og -lagring i landbruget skal være økonomisk bæredygtig, skal der skabes en merindtjening for CO₂-fangst og -lagring i biokul, der både kan aflønne landbruget, som leverer biomassen, pyrolyseværket, der producerer biokullet, og landbruget, der aftager biokullet.

Den økonomiske gevinst i pyrolyseprocessen er i den simple værdikædemodel, at der kan skabes indtjening ved salg af energiprodukterne fra pyrolyseprocessen. Men for at skabe en fungerende model, hvor fx landbruget vil levere biomasse til processen, kræves det, at landbruget bliver betalt for at levere biomassen og dermed får del i indtjeningen. I visse tilfælde kan der dog være tale om leverandører, der vil betale pyrolyseværket for at slippe af med biomassen, fx spildevandsslam, som kan være med til at forbedre den økonomiske case.

Det er i midlertidig ikke nok til at skabe en bæredygtig værdikæde for lagring af CO₂ med biokul i landbruget og dermed en fuld udnyttelse af klima- og miljøpotentialerne. For at det kan ske, skal der være en gevinst ved at sprede biokullet på markerne for landbruget. Nogen skal med andre ord betale for biokullets positive klimaeffekt.

Det kan ske, hvis slutforbrugere og fødevarereproducenter er villige til at betale ekstra for landbrugsprodukter, der har et lavere klimaaftryk som følge af spredning af biokul på marken, eller ved at man i pyrolyseprocessen kan få betaling for CO_{2e}-reduktionen i form af salg af klimakreditter.

I forhold til at opnå en merbetaling for landbrugsprodukter fra landbrug, der spreder biokul, er der en række udfordringer. Dels kræver det, at landbruget kan dokumentere et lavere klimaaftryk som følge af spredning af biokul, og her kan manglen på et klimamærke være en udfordring i forhold til slutforbrugeren, og dels er det stadig uklart, om hele klimaeffekten fra tilførsel af biokul til en mark skal følge udbyttet, som høstes i den efterfølgende vækstsæson, fra den specifikke mark, hvor biokulproduktet er spredt, eller om klimaeffekten potentielt kan fordeles ud over flere år eller kan fordeles mellem udbytte fra flere af landbrugets marker.²

På nuværende tidspunkt er der ifølge SEGES Innovation derfor ingen reel økonomisk belønning knyttet til kulstoflagring i biokul udover muligheden for salg af klimakreditter på det frivillige klimakreditmarked.³ Det hænger sammen med, at en reel markedsbetaling forudsætter dokumentation i form af fx klimacertifikat.

Ved at udbyde klimakreditterne sikrer man samtidig den højeste pris udbyderen af klimatiltaget, og landbruget vil stadig have mulighed for at beholde klimagevinsten i produktkæde, hvis deres betalingsvillighed er størst.

Hvis ikke, der kan opnås passende betaling til landbruget for at lagre biokullet, så er det stadig muligt at udnytte CO₂-lagringspotentialet ved at lagre biokullet på andre måder, fx ved at indarbejde det i byggematerialer. Her går man dog eksempelvis glip af de miljømæssige gevinster, fx at jorden holder bedre på vandet, og der sker mindre udledning af nitrat til de omkringliggende vandløb.

Et alternativ eller supplement til salg af klimakreditter er, at der politisk gives støtte til CO₂-lagring med biokul, fx i en opstartsperiode, hvis der ikke kan skabes et kommercielt bæredygtigt marked.

2.4 Værdikæde med salg af klimakreditter

Ved at indføre salg af klimakreditter i værdikæden vil pyrolyseværket kunne opnå en indtjening for produktionen af biokul og efterfølgende spredning, der kan gøre processen økonomisk bæredygtig.

Som i den simple værdikæde vil landbrug stadig levere restbiomasse til pyrolyseværket, som ved hjælp af pyrolyse vil producere hhv. et energiprodukt, overskudsvarme og biokul. Den eneste forskel er, at pyrolyseværket vil kunne udstede en klimakredit, som kan frasælges til fx industri- eller transportvirksomheder, der har brug for at kunne reducere klimaaftrykket på egne produkter. Og dermed vil pyrolyseværket opnå en indtjening for biokullet.

Men for at biokullet efterfølgende spredes på fx marker, kræver det, at landbruget også har en gevinst ved at gøre det. Det kan fx ske i form af en betaling fra pyrolyseværket, og/eller at en del af klimakrediten tilfalder landbruget, som enten selv kan bruge den eller sælge den. Altså en form for overskudsdeling.

Til forskel fra scenariet uden klimakreditter vil udbyttet, som landbruget sælger til en fødevarer virksomhed, ikke have et lavere klimaaftryk, hvis hele klimakrediten sælges fra, men vil derimod have et klimaaftryk, som svarer til, at der ikke er benyttet biokul, fordi klimaeffekten af biokul er solgt fra som klimakredit. Biokullagringen vil dog stadig kunne tælles med i selve bedriftsregnskabet.⁴

Ved at udbyde klimacertifikater på en handelsplatform sikrer man den højeste markedspris for klimatiltaget. Det betyder samtidig, at landbruget også har mulighed for at beholde klimacertifikatet og dermed klimagevinsten i dets produktkæde, hvis deres betalingsvillighed er størst.

Hvis ikke, der kan opnås passende betaling til landbruget for at lagre biokullet, så er det stadig muligt at udnytte CO₂-lagringspotentialet ved at lagre biokullet på andre måder, fx ved at indarbejde det i byggematerialer. Her går landbruget dog glip af de miljømæssige gevinster ved at sprede biokullet på

² SEGES Innovation (2023)

³ SEGES Innovation (2023)

⁴ SEGES Innovation (2023)

landbrugsjorden, fx at jorden holder bedre på vandet, og der sker mindre udledning af nitrat til de omkringliggende vandløb.

Et alternativ eller supplement til salg af klimakreditter er, at der politisk gives støtte til CO₂-lagring med biokul, fx i en opstartsperiode for at skabe et marked for biokul.

Figur 4. Eksempel på værdikæde med salg af klimakreditter



Kilde: CIP Fonden.

3. Samlokaliseringsmuligheder

3.1 Samlokaliseringsmuligheder

Samlokaliseringsgevinster opnås, når der opstår en økonomisk gevinst og øget effektivitet ved en placering af pyrolyseværket i nærheden af relevant inputleverandør, outputtager eller infrastruktur. Fordelene kan omfatte logistik som følge af lavere transportomkostninger og synergieffekter, da et samlokaliseret værk kan udnytte biprodukter, restprodukter eller overskudsvarme, hvilket kan øge den samlede effektivitet og energiudnyttelse.

Fx kan en placering ved veje til tung transport reducere værkets omkostninger og effektivisere processen. Yderligere kan samlokalisering skabe arbejdspladser og fremme lokale forretningsmuligheder.

3.2 Samlokaliseringsmuligheder ved biokulproduktion

En væsentlig faktor for placering af pyrolyseværkerne er, at det er begrænset, hvor langt biomassen rentabelt kan transporteres.

For våde biomasser vil en stor del af den transporterede mængde være vand, som er dyrt at transportere, mens tørstofmængden, der benyttes til pyrolyseprocessen, er relativt lille. Det vil derfor være fordelagtigt at placere pyrolyseværket tæt på biomassekilden af hensyn til logistik og transportomkostninger. Alternativt skal biomassen tørres nær dens oprindelse og fx pelleteres for lettere

transport. Det vil derfor være fordelagtigt at placere pyrolyseværket tæt på biomassekilden af hensyn til logistik og transportomkostninger.⁵

Samtidig kan pyrolyseværket være samlokaliseret med andre industrielle faciliteter eller processer, der generer organisk affald eller sidestrømme. Ved at udnytte disse sidestrømme som råmaterialer til pyrolyseprocessen kan man opnå synergier og minimere ressourcospildet. For eksempel kan landbrug samarbejde med pyrolyseværket og forsyne det med landbrugsaffald eller biomasse, samtidig med de modtager biokul, energi og overskudsvarme.

Der findes flere forskellige kilder til biomasse, som kan være relevant at placere pyrolyseværket i nærheden af. Det kan fx være:

- Biogasanlæg (digestat)
- Bioraffinering af græs (græspulp)
- Savværker (træflis og trærester)
- Møbelfabrikker (trærester)
- Bryggerier (mask)
- Spildevandsanlæg (slam)

Modsat vil der også kunne opstå samlokaliseringsgevinster ved at placere pyrolyseværket tæt på afsætningsmulighederne for både biokullet og sidestrømmene fra processen i form af fx overskudsvarme og bioolie. Det kan være ved at sikre en placering tæt på fjernvarmenettet, hvorved overskudsvarmen bedre kan udnyttes.

Det vil dog ikke altid være muligt at samlokalisere pyrolyseprocessen med både afsætningsmulighederne og biomassekilden. I sidste ende vil der derfor være tale om en afvejning, hvor størrelsen af de respektive samlokaliseringsgevinster vil være afgørende for den optimale placering.

I praksis vil det ofte være et spørgsmål om, hvad der er sværest og dyrest at transportere. Her vil biokullet i sig selv ikke spille den store rolle, da det er relativt let at transportere.

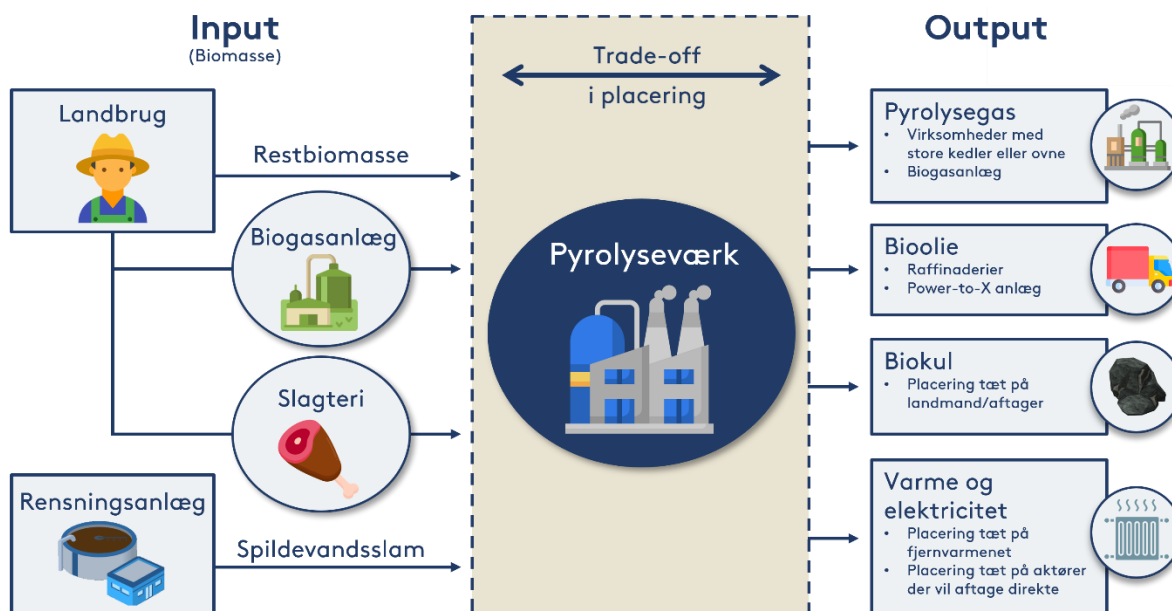
Derimod vil beslutningen afhænge af energiprodukterne, der produceres, og særligt biomassen, der bruges. Og sidstnævnte vil typisk være udslagsgivende, da biomassen i mange tilfælde ikke rentabelt kan transporteres over længere afstande.

For at minimere transportafstandene mellem biomassekilden og pyrolyseværket kan det, derfor være en fordel med flere små værker.

Pyrolyseværkerne er dog teknisk krævende værker, og for at sikre både professionel styring af værkerne, skalafordele og for at holde driftsudgifterne nede, så kræver det, at værkerne får en vis volumen.

⁵ NIRAS (2023)

Figur 5. Eksempel på trade-off i forhold til samlokaliseringsgevinster



Kilde: CIP Fonden.

3.3 Eksempler på samlokalisering

Landbrugsrester

Pyrolyseværket kan samarbejde med landbrug for at udnytte rester fra afgrøder, husdyrproduktion og biomasse. Fx kan halm, gylle, træflis eller markafgrøder, der ikke opfylder kvalitetsstandarder, anvendes som råmaterialer i pyrolyseprocessen. Den resulterende olie, gas og biokul fra processen kan bruges i landbruget til energiproduktion, gødning eller jordforbedring.



CASE 1: Carbon Hill bruger landbrugets rester til at producere biokul

Carbon Hill er en virksomhed, der er lokaliseret på et familieejet landbrug i UK. De har et lokalt pyrolyseværk, der blandt andet benytter rester fra landbruget til at producere biokul.

Biokullet bliver efterfølgende solgt som en blanding med kompost eller brugt til forsøg på universiteter. Carbon Hill generer klimakreditter, der sælges via puro.earth til en pris på 220 euro pr. kredit.

Ifølge puro.earth kommer de undgåede emissioner fra brugen af biomasse, der ellers havde udledt CO_{2e} i marken. Virksomheden sigter efter at udvide deres model.

Kilde: Puro Earth (2023a).

Træaffald

Pyrolyseværket kan udnytte træaffald fra skovdrift, bygge- og nedrivningsaffald eller genbrugscentre. Ved at placere værket tæt på disse kilder kan man reducere transportomkostningerne og CO_{2e}-udledningen forbundet med langdistance transport af træaffaldet. En stor del af udbyderne af klimakreditter på puro.earth benytter træaffald fra skovdrift som deres biomasse til pyrolyseværket og har samlokaliseret deres værk med kilden til biomassen.

Fjernvarme eller store virksomheder, der kan bruge varmen

I pyrolyseprocessen er der en overskudsvarme, der kan udnyttes på forskellige måder. Ved at lokalisere værket i nærheden af eksisterende fjernvarme vil det være muligt at udnytte overskudsvarmen i det

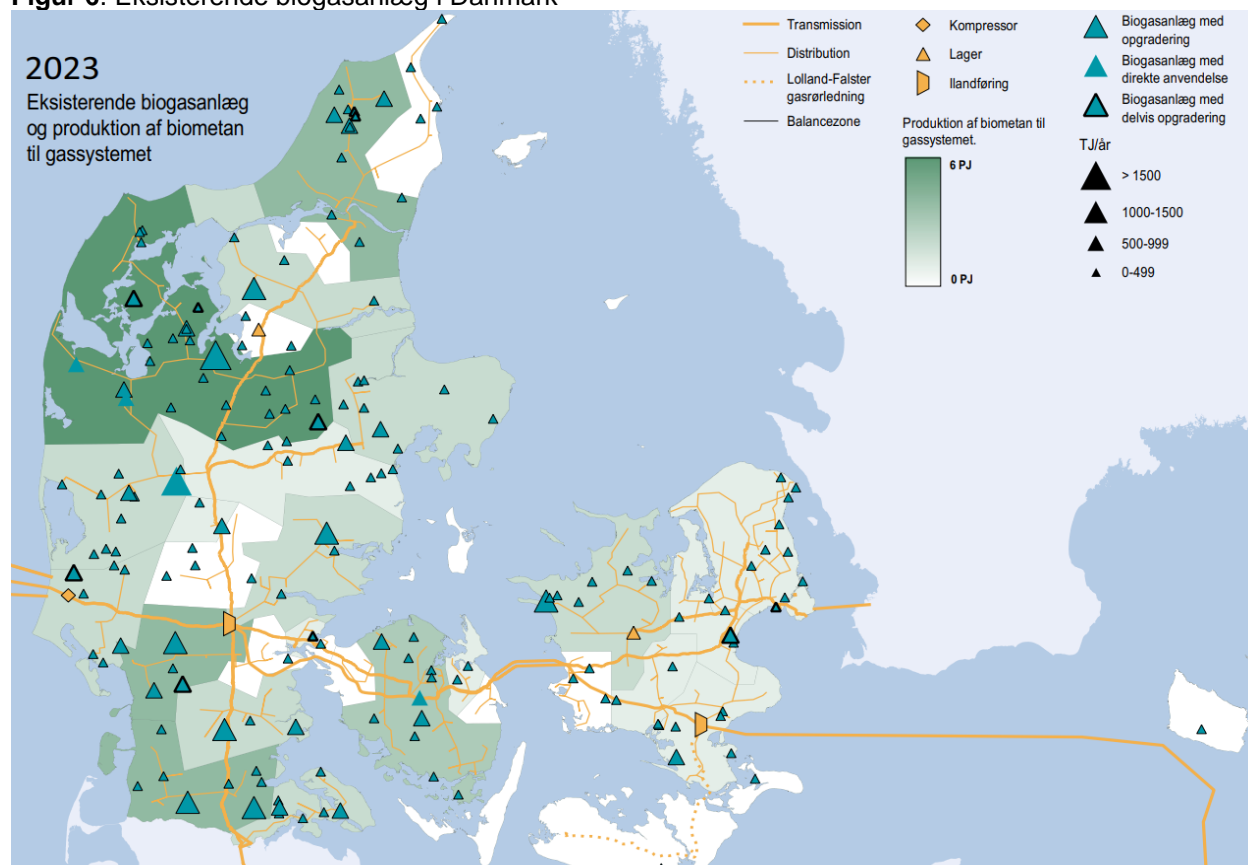
eksisterende net. Alternativt kan værket placeres i forbindelse med en stor virksomhed, der kan bruge overskudsvarmen direkte til fx tørring, og dermed erstatte andre energikilde.

3.4 Værkernes forventede placering og størrelse i Danmark

Der er et trade-off i forhold til placering af værkerne, og om hvorvidt placeringen skal være input- eller aftagerbestemt. Dette trade-off kan i visse tilfælde minimeres ved fx at indtænke værkerne i eksisterende infrastruktur.

Eksempelvis er det oplagt at placere pyrolyseværkerne tæt på den eksisterende biogasproduktion, og dermed udnytte eksisterende infrastruktur og restbiomassen fra processen. Her er der tale om mere spredte anlæg, som dog har sin koncentration i Vestdanmark.⁶

Figur 6. Eksisterende biogasanlæg i Danmark



Kilde: Energistyrelsen.

Et andet eksempel er at placere værkerne i tilknytning til spildevandsanlæg, hvorved værket let kan få biomasse i form af spildevandsslam, som ellers har begrænset anvendelsesformer, og som samtidig er svær at transportere over længere distancer. Denne anvendelse handler dog mere om oprensning af biomassen (miljøeffekten) end om CO₂-lagring. Her vil placeringen være mere spredt ud over landet.⁷

En afgørende beslutning for den endelig placering er dog også, at der er sikkerhed for fortsat leverance, så man ikke ender med at placere værker, hvor der pludselig ikke længere er biomasse. Det kan være en risiko, hvis man placerer værket tæt på én enkelt kilde, som man er afhængig af, fx et slagteri.

⁶ Energistyrelsen (2023)

⁷ CIP Fonden (2024)

For at minimere transportafstandene mellem biomassekilden og pyrolyseværket vil det i de fleste tilfælde være en fordel med flere små værker. Samtidig kræver storskalaanlæggene meget biomasse tæt på værket, som kan være svært at finde i Danmark på grund af erhvervsstrukturen. Det kan fx være rester fra et savværk eller en papirmølle.

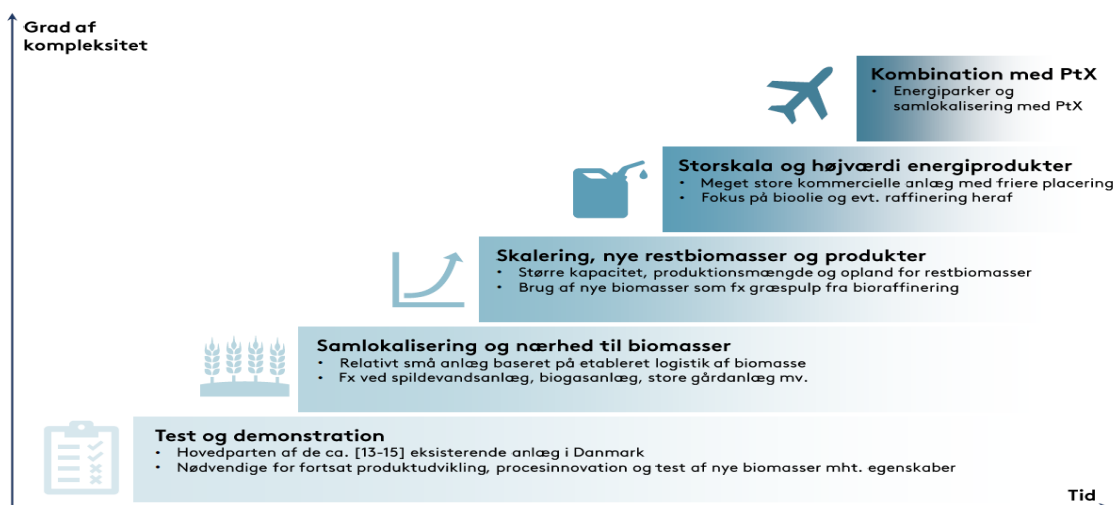
3.5 Den fremtidige udbygning

Som det fremgik af hovedrapporten, er det rentabelt at investere i biokulproduktion, når det fx sker baseret på digestat fra et biogasanlæg (samlokalisering), eller når der laves biokul af halmrester og produceres bioolie. Afsætning af den grønne energi bærer hovedparten af casen, men det kræver også afsætning af klimakreditter. Spildevandsslam er også rentabelt, men afhænger også af betalingsvilligheden for at komme af med slammet. Skaleringsmæssigt er man gået fra test- og demonstrationsanlæg til at være klar til kommerciel produktion og har dermed bevæget som nogle trin op ad den potentielle udvikling.

Fra mindre anlæg, der fx kan håndtere få tusinde ton tørstof årligt, op mod større produktionsenheder på 40.000 ton tørstof og potentielt helt op mod 100.000 ton over tid – fortsat afgrænset af den tilgængelige restbiomasse, der kan sources til produktionen.

Fra stand-alone anlæg til samlokalisering med i første omgang biomasseleverandører og potentielt også energiaftagerne i egentlige klynger eller energiparker.⁸

Figur 7. Teknologiens udvikling



Kilde: CIP Fondens egen illustration

4. Ejerskabsformer og investorer

Pyrolyse og produktionen af biokul er stadig i opstartsfasen i Danmark, og det står enhver frit for at investere i et anlæg.

Der er dog to væsentlige forhold, som er afgørende for at sikre det mest optimale ejerskab. Først og fremmest koster et pyrolyseværk, som producerer biokul, typisk mere end 100 mio. kr. Der er dermed tale om en stor initial investering, som kræver de nødvendige økonomiske muskler at kunne løfte. Dernæst er pyrolyseværkerne industrialanlæg, som kræver stor industriel knowhow og en industriel tilgang for at kunne standardisere og opskalere, og det kan kræve en industrialiseret part at løfte produktionen og logistikken succesfuldt på tværs af værdikæder.

⁸ SEGES Innovation (2023)

Udover de to krav til ejeren indebærer lagring af CO₂ med biokul i landbruget et samarbejde på tværs af brancher og leverandører, som ikke nødvendigvis arbejder sammen i andre sammenhænge, og som kan have modsatrettede incitament og interesser. Det er derfor helt oplagt at se på, hvorvidt ejerskabet kan skabe ensrettede incitament.

På mange måder minder det om de samme udfordringer og overvejelser, som biogasbranchen tidligere har stået med, og det er derfor nærliggende at bygge videre på deres erfaringer.⁹

Biogasbranchen har været igennem en industrialiseringsproces, hvor ejerskabet er blevet mere professionaliseret, og hvor det i stedet for at være det enkelte landbrug, der investerede i et biogasanlæg og drev det, i stedet er blevet egentlige selskaber med stor grad af industrividen, som ejer og driver værket. Ejerskabet består typisk af en majoritetsejer i form af et energiselskab og en minoritetsejerkreds i form af landbruget, som dermed får del i eventuel upside i selskabet.

Det har ført til betydelige skalafordele på anlæggene, og det har samtidig åbnet op for, at eksterne investorer, såsom pensionselskaber og investeringsfonde er begyndt at investere i selskaberne og dermed stille kapital til rådighed.

Fordelen ved at lade fx et energiselskab eller en investeringsfond blive en stærk hovedejer af pyrolyseværkerne er dels, at landbruget ikke behøver at foretage investeringen selv, dels at der kommer en aktør ind med stor indsigt og industrividen, som lettere kan løfte opskaleringen og standardiseringen.

Det sikrer også, at værkernes evne til at skabe vækst ikke begrænses, hvis der fx ikke er nok kapital til at foretage nye investeringer i nye vækstskabende initiativer hen ad vejen, såsom et fjernvarmerør til anlægget, CO₂-fangst eller elektrolyse. De eksterne investeringer kan samtidig være afgørende for at sikre den nødvendige udbygning af pyrolyseværker, hvis vi skal i mål med de politiske ambitioner.



Biogasbranchens rejse

Omkring 1975 blev Danmarks første landbrugsbiogasanlæg bygget af en landmand på Fyn. Og i de efterfølgende år fulgte omkring 15 andre trop med deres egne biogasanlæg.

Udviklingen fortsatte op gennem 80'erne og 90'erne, hvor der blev etableret en række større landmandsejede biogasfællesanlæg. Før etableringen af større biogasanlæg gik næsten i stå i 00'erne.

Det er først med en ny Energiaftale i 2012, at biogasproduktionen kom op i gear igen. Aftalen gjorde det muligt at få støtte til anvendelse af biogas til bl.a. elproduktion og levering til naturgasnettet, og samtidig blev anlægsstøtten øget fra 20 til 30 pct.

Mens økonomien i anlæggene sammen med tekniske problemer hidtil havde lagt en dæmper på interessen, så meldte flere og flere investorer sig nu på banen fra slutningen af 10'erne, og det førte til, at der generelt kom en større grad af professionalisering og industrialisering ind i biogasbranchen. Blandt andet ved at majoritetsejeren typisk blev et energiselskab eller grovvarerelskab, mens landbrugene fik en mindre ejerandel og en leverandøraftale med selskabet. I takt med mulige CO₂-gevinster som indtægt er dette også til forhandling i leverandøraftalerne.

Kilde: DM BIO (2023).

Der kan dog stadig være en idé i at tænke landbruget ind i ejerskabet som minoritetsejere i en form for andel 2,0. Her får landbruget medejerskab, hvis de garanterer de langsigtede biomasseleverancer. Dermed får de del i upsiden – det kan både være i forhold til energiprisen og klimagevinsten. Og samtidig sikrer pyrolyseværket sig det nødvendige input. Dermed skabes der ensrettede incitament for alle, og pyrolyseværket får mindsket risikoen.

⁹ Copenhagen Economics (2014)

Selve leverancen kan fx ske ved hjælp af leverandørforeninger. Det gør det lettere for pyrolyseværket at sikre sig dets input, og samtidig kan det øge landbrugenes forhandlingsposition. Som nævnt står det dog alle frit for at investere i værkerne, og vi vil formentlig se flere forskellige ejerskabsformer med forskellige forretningsmodeller og størrelser på værkerne.



Pyrolyse-as-a-service

En såkaldt pay-per-use-model eller en pyrolyse-as-a-service-ordning kan være en anden relevant forretningsmodel i forhold til at tillade fx landbrug eller spildevandsanlæg, der ikke selv kan eller vil investere ind i værkerne, at få større del i selve processen.

I modellen lejer en industriaktør anlægget ud til fx et landbrug eller spildevandsanlæg, der leverer en mængde biomasse til pyrolyseværket og får en mængde biokul retur.

På den måde slipper fx spildevandsanlæggene for at skulle bortskaffe spildevandsslammet, som blandt andet sker i dag ved, at landbruget betales for at sprede slammet på markerne.

For landbruget har modellen den fordel, at de slipper for selv at skulle foretage investeringen i et værk. Og denne model tillader ligeledes, at en specialiseret industriaktør kan stå for ejerskabet.

Kilde: SEGES Innovation (2023).

Kilder

Amonette et al. (2021): *Biomass to Biochar – Maximizing the Carbon Value*, Report by Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources, Washington State University, Pullman WA. [Biomass to Biochar: Maximizing the Carbon Value | CSANR | Washington State University \(wsu.edu\)](#)

CIP Fonden (2024): *Mulige miljøeffekter af biokul*, Baggrundsnotat #3, januar 2024.

Copenhagen Economics (2014): *Finansiering og organisering af biomassebaserede værdikæder*, slides. <https://docplayer.dk/29066459-Finansiering-og-organisering-af-biomassebaserede-vaerdikaeder-ministeriet-for-foedevarer-landbrug-og-fiskeri.html>

DM BIO (2022): *Pyrolyse af landbrugsaffald er et attraktivt klimatiltag*, 29. august 2022, <https://dm.dk/bio/artikler/alle-artikler/klima/pyrolyse-af-landbrugsaffald-er-et-attraktivt-klimatiltag/>

DM BIO (2023): *Halm og Roetoppe kan revolutionere biogasproduktionen i Danmark*, 8. februar 2023, <https://dm.dk/bio/artikler/alle-artikler/nye-teknologier-og-materialer/halm-og-roetoppe-kan-revolutionere-biogasproduktionen-i-danmark/>

EA Energianalyse (2020): *SkyClean – pyrolyse af halm og nedmuldning af biokul som klimavirkemiddel*, december 2020. <https://www.ea-energianalyse.dk/da/publikationer/skyclean-pyrolyse-af-halm-og-nedmuldning-af-biokul-som-klimavirkemiddel/>

EA Energianalyse (2021): *Reduktionssti for udledning af CO₂e mod 70 pct. målet*. Udarbejdet for DI. <https://www.ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2021/10/70-pct-malet-reduktionssti.pdf>

EBC (2020): *Certification of the carbon sink potential of biochar*, Ithaka Institute, version 2.1 from February 2021. https://www.european-biochar.org/media/doc/26/c_en_sink-potential.pdf

Elsgaard et al (2022): *Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture*, Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Landbrug, september 2022 <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport208.pdf>

Energistyrelsen (2023): *Eksisterende biogasanlæg og produktion af biometan til gassystemet*, tilgæet 9. november 2023. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/kort_over_biogasproducenter_i_danmark_2023.pdf

Henriksen og Ahrenfeldt (2019): *Reduktion af landbrugets klimaaftryk ved hjælp af pyrolyse*, DTU Kemiteknik august 2019. <https://www.kt.dtu.dk/-/media/Institutter/Kemiteknik/Forside/Samlet-notat.ashx?la=da&hash=B8F1072C56D0D9EBECE1F3C959356054A51D42B1>

IEA Bioenergy (2021): *Hydrothermal Carbonization (HTC): Valorisation of organic waste and sludges for hydrochar production and biofertilizers*, IEA Bioenergi Task 36, oktober 2021 <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/10/HTC-Valorisation-of-organic-wastes-and-sludges-for-hydrochar-production-and-biofertilizers-Full-Report.pdf>

Klima-, energi- og forsyningsministeriet (2022): *Klimaprogram 2022*, [Klimaprogram 2022.pdf \(kefm.dk\)](#)

Lehmann et al. (2021): *Biochar in climate change mitigation*, Nature Geoscience, vol. 14, December 2021 <https://www.nature.com/articles/s41561-021-00852-8>

NIRAS (2023): *Kortlægning af biomasser til biokul og CO₂-potentialer*, Analyse udarbejdet for CIP Fonden, 1. juni 2023, [NIRAS-biomasse-rapport_til-udgivelse.pdf \(cipfonden.dk\)](https://www.niras.dk/publikationer/2023/06/01/niras-biomasse-rapport-til-udgivelse.pdf)

Nordregio (2018): *Stockholm Biochar Project*, 29. juni 2018, https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/

Puro Earth (2023a): Carbon Hill Carbon Removal Information, tilgået d. 8. august 2023, <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/carbon-hill-100179>

Puro Earth (2023b): OBIO-biochar from sustainable Norwegian forests, tilgået d. 8. august 2023, [OBIO-biochar from sustainable Norwegian forests | Puro.earth](#)

Puro Earth (2023c): Nordgau Carbon. Biochar, SE Germany, tilgået d. 8. august 2023, <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/nordgau-carbon-biochar-se-germany-100027>

Puro Earth (2023d): Bussme Biochar – Sweden, tilgået d. 8 august 2023, <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/bussme-biochar-sweden-100034>

Puro Earth (2023e): Biochar – ECOERA Millennium 1 – Sweden, tilgået d. 8. August 2023, <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/biochar-ecoera-millennium-1-sweden-100015>

SEGES Innovation (2023): *Analyse af mulighederne for at forretningsgøre CO₂-lagring i biokul*, november 2023, [Analyse-af-mulighederne-for-at-forretningsgoere-CO2-lagring-i-biokul-SEGES.pdf \(cipfonden.dk\)](#).