

## Metanpyrolyse

Notat  
December 2021

NOTAT

## Metanpyrolyse

*Emil Christensen, projektingeniør*

I lyset af den øgede interesse for brint, hvis nye formål er energilagring og energitransport, er der kommet en øget interesse for effektive og grønne brintproduktionsteknologier.

Brint kan produceres på flere forskellige måder. De mest anvendte er elektrolyse, autotermisk reforming (ATR) og steam reforming (SMR) af metan. Det er dog også muligt at producere brint vha. pyrolyse af metan. Det er endnu en ikke-kommerciel teknologi. I dette notat gives en kort beskrivelse af *pyrolyse af metan* med udgangspunkt i rapporten ”**Technology Data – Renewable fuels**”<sup>1</sup>

### Teknologisk beskrivelse

Metanpyrolyse er en dekomposition af metan, hvor metan (CH<sub>4</sub>) konverteres til molekylær brint (H<sub>2</sub>) og fast sort karbon (C<sub>s</sub>) i et iltfattigt miljø. Reaktionen er endoterm (energiforbrugende) og kræver temperaturer over 800 °C for at kunne reagere. Dekomposition sker ved følgende reaktion



Der er forskellige metoder til pyrolyse af metan, nemlig

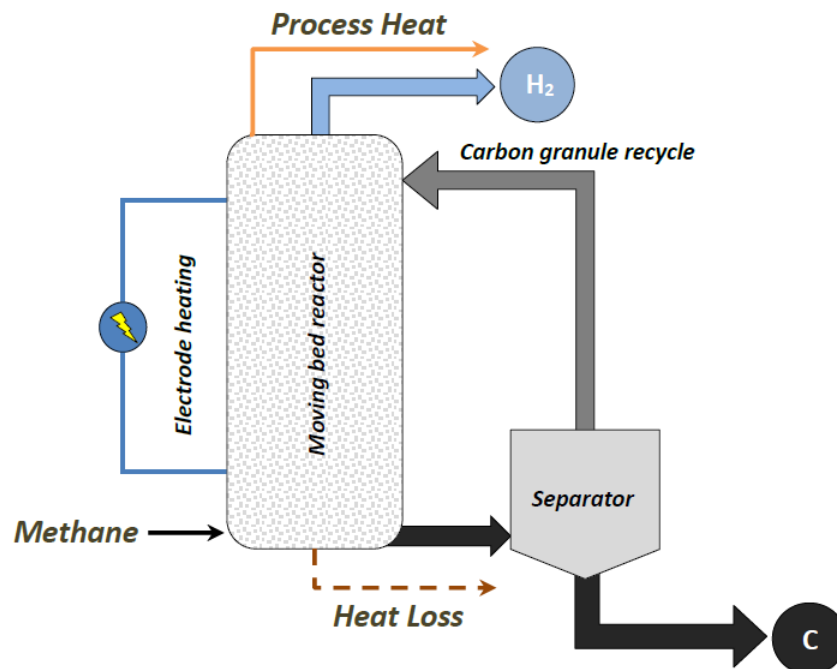
- termisk assisteret
- plasma-assisteret
- katalytisk assisteret.

Hver af disse kategorier opererer ved forskellige temperaturer og ved forskellige teknologier. De to teknologier med højest ”technology-readiness”, hvilket vil sige teknologier, som er tættest på at blive implementeret i industrien, er den termisk assisterede pyrolysereaktor og den plasma-assisterede dekomposition.

### Moving-bed pyrolysereaktor

Et eksempel på en teknologi baseret på termisk assisteret pyrolyse er en moving-bed reaktor. Moving-bed reaktoren opererer kontinuerligt, hvor bedmaterialet bestående af karbongranulater bliver recirkuleret og opvarmes elektrisk i reaktoren, se nedenstående figur. Metangassen passerer igennem reaktoren, hvor pyrolysereaktionen sker tæt på karbongranulaterne. Karbonproduktet fra reaktion bliver fjernet fra reaktoren sammen med karbongranulaterne. Disse bliver udsat for en separationsproces baseret på størrelse, hvilket kan lade sig gøre, da karbongranulatpartikler er betragteligt større end sort karbon. De kolde separerede karbongranulater bliver genintroduceret i reaktoren,

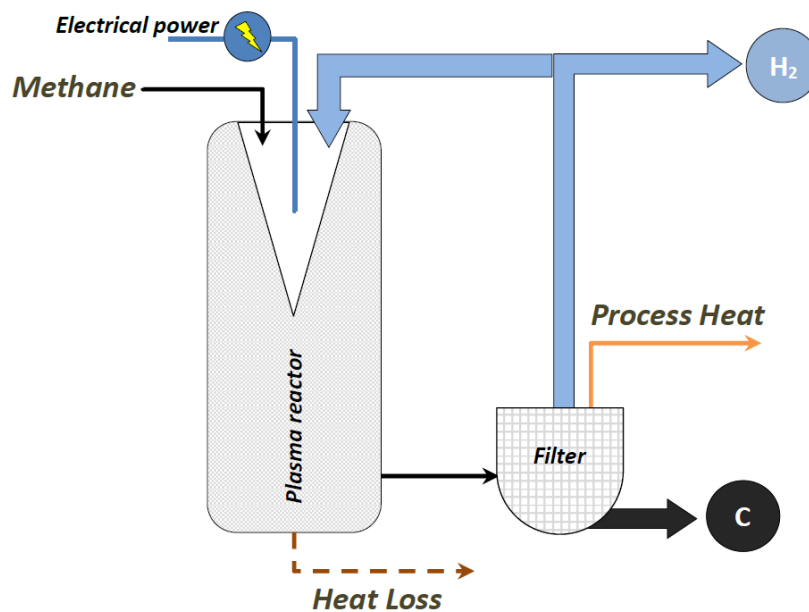
hvor disse bliver opvarmet med den varme hydrogenstrøm, som forlader reaktoren. Denne proces er ved at blive udviklet af den tyske kemivirksomhed, BASF.



Figur 1 Et skitsediagram af den termisk assisterede moving-bed reaktor

### Plasma-assisteret dekomposition

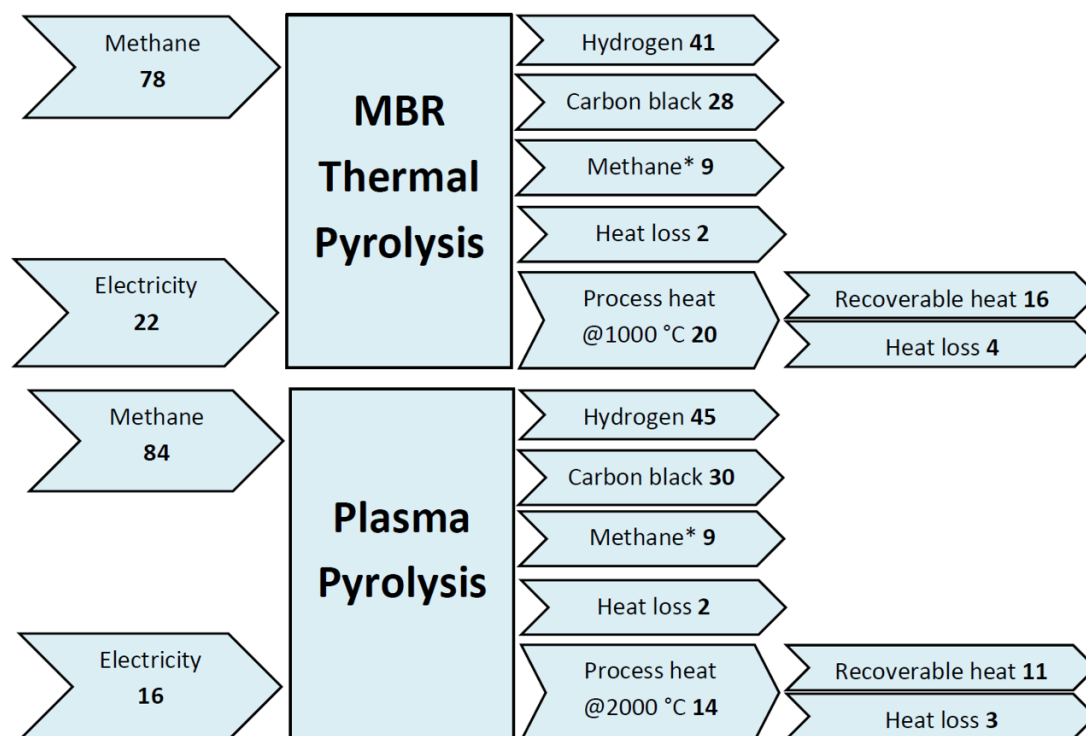
Plasma-assisteret dekomposition opererer ved relativt høje temperaturer, hvilket er omkring 2000 °C, der genereres ved brug af en plasmaflamme. Disse høje temperaturer forekommer kun i nærheden af plasmaflammen og hydrogengassen. Reaktorens materialer ville altså ikke blive udsat for disse temperaturer og derfor ikke blive beskadiget. Metan bliver introduceret til plasmaflammen, og den resulterende gas bliver cirkuleret indeni reaktoren for at stabilisere plasmaflammen. Hydrogen og sortkarbon bliver fjernet fra reaktoren og introduceret igennem et filter, hvor disse bliver separeret. Til denne teknologi kan også en katalysator benyttes, som vil sænke procestemperaturen ned til 1000 °C. Atlantic Hydrogen er ved at udvikle en type plasmareaktor. Processen for den plasma-assisterede dekomposition er skitseret nedenfor.



Figur 2 Et skitsediagram af den plasma-assisterede dekomposition

## Energibalance

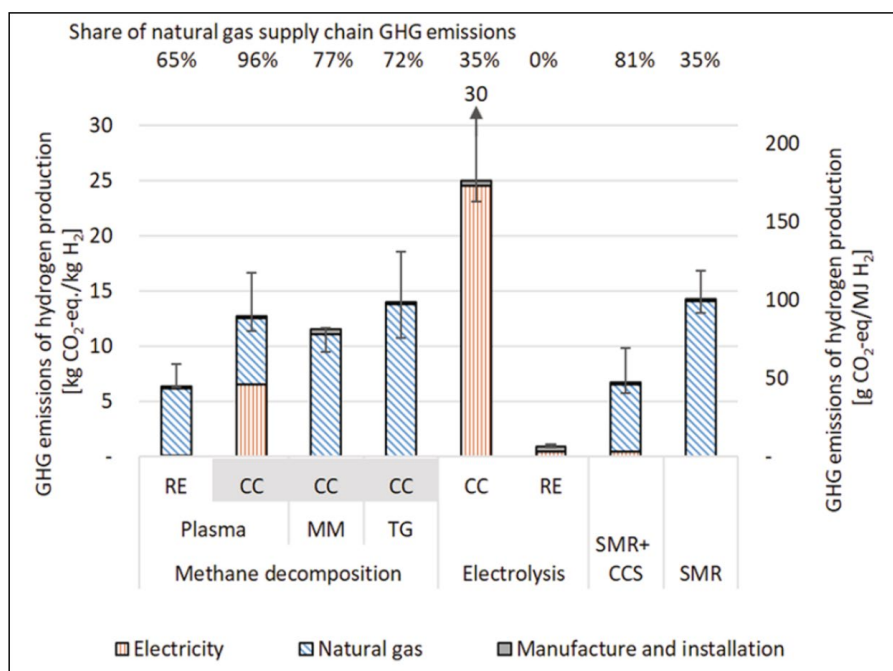
Energibalancerne for moving-bed reaktoren (MBR) og for plasma-assisteret pyrolyse vises i figurerne nedenfor. Energibalancen inkluderer kun input og output for procesreaktionen og dermed ikke periferiske inputs. Energien, der er genereret til processerne, er desuden antaget at være genanvendelig ligesom de traditionelle processer indenfor brintproduktion, såsom SMR og ATR processer, hvor der bruges varmekedler, som er i stand til at genanvende 80 % af spildenergien. Der antages desuden, at pyrolysereaktionen ikke danner andre biprodukter end sortkarbon. De 9 % metanrest i begge teknologier kan blive genintroduceret i processen og således reagere videre. Der er blevet brugt nedre brændværdier til beregning af energibalancen.



Figur 3 Øverst ses energibalancen for moving-bed reaktoren, og nederst ses energibalancen for plasmadekompositionen

## Fordele og ulemper

Fordelen ved metanpyrolyse sammenlignet med traditionelle hydrogenprocesser er, at kulstofaftryk- ket bliver lagret i fast form, sort karbon, direkte i processen. På SMR/ATR skal der introduceres karbonfangstteknologier (CCS), som separerer CO<sub>2</sub> fra outputtet i flydende form eller på gasform. Ulempen for metanpyrolysen er den lave efterspørgsel efter sort karbon. Der forekommer dog over- vejelser om, hvorvidt sortkarbon kan bruges i coating-teknologier, som kan gøre overflader mere ledende. Trods metanpyrolysens volumenmæssigt effektive lagring af karbon, så vil CO<sub>2</sub>-aftrykket stadig ca. være det samme for SMR/ATR-CCS som for den mest modne metanpyrolyseteknologi. Se figur nedenfor.



Figur 4 Histogram for GHG-emissioner for forskellige brintproduktionsteknologier. RE (renewable energy), CC (combined cycle power plants), MM (molten metal), TG (thermal gas)

## Klima

Figur 4 viser, at energistrømmene i forbindelse med metanpyrolyseteknologien har samme miljøpåvirkning som de traditionelle SMR-anlæg. Den plasma-assisterede metanpyrolyse vil dog være den eneste metanpyrolyseteknologi, hvor der kan tilsluttes vedvarende energistrømme. Det ses tydeligt, at det er elektrolysen, tilsluttet vedvarende energi, der har den laveste klimapåvirkning. Ud fra figuren kan det konkluderes, at selvom der oprettes et SMR-CCS- eller et plasma-assisteret metanpyrolyseanlæg, der begge er tilsluttet vedvarende energistrømme, så vil klimapåvirkningen ikke blive neutral. Her skal der altså oprettes et grønt elektrolyseanlæg, for at klimapåvirkningen er tættest på nul. Det skal bemærkes at figuren ikke inddrager bionaturgas som energistrøm. Her skal teknologiernes klimapåvirkning revurderes, hvis en grøn gas benyttes i stedet for naturgasen.

## Research og udvikling

Metanpyrolyse anses for at være en umoden teknologi, da de eksisterende metanpyrolyseteknologier kun befinder sig på pilot-basis. Der er derfor et betydeligt usikkerhedsniveau med hensyn til teknologiens ydeevne og udgifter, da ingen af de nævnte pilot-anlæg er færdigbyggede og/eller færdige med deres tests.

## Kvantitativ beskrivelse

### Teknisk levetid

For et anlæg, der skal bruge metanpyrolyseteknologi til brintproduktion, forventes den tekniske levetid at være minimum på 20 år, hvilket svarer til SMR/ATR-hydrogenanlæg.

### Anlæggets størrelse

Metanpyrolyseanlæg vil variere i størrelse afhængigt af den benyttede teknologi, se nedenstående tabel for sammenligning af SMR og de to nævnte metanpyrolyseteknologier.

*Tabel 1 Input og output for forskellige procestyper.*

Process Type	Inputs		Outputs				
	Methane consumption [kWh/kg H <sub>2</sub> ]	Electricity consumption [kWh/kg H <sub>2</sub> ]	H <sub>2</sub> produced [kg H <sub>2</sub> /day]	Carbon yield [kg C/kg H <sub>2</sub> ]	Methane unconverted* [kg CH <sub>4</sub> /kg H <sub>2</sub> ]	Heat recovery [kWh/kg H <sub>2</sub> ]	Heat loss [kWh/kg H <sub>2</sub> ]
Moving-bed reactor	62.3	17.7	23,000	3.0	0.5	18.4	6.4
Plasma	61.7	12.2	89,000	3.0	0.4	13.3	5.2
SMR without CCS	51.6 (48.6 – 60.0)	-	450,000 (160,000 – 1,100,000)	-	0.3	26.7	6.7
SMR with CCS	54.1 (49.3–80.2)	-	525,000 (216,000 – 1,200,000)	-	0.3	26.7	6.7

Tabellen viser, at af de to metanpyrolyseteknologier vil den plasma-assisterede metanpyrolyseteknologi kunne producere mest brint. Denne mængde vil dog kun udgøre 16,7 % i forhold til produktion af brint ved SMR-CCS. Det vil sige, at metanpyrolysen på nuværende tidspunkt ikke vil kunne overgå de eksisterende SMR-CCS-anlæg med hensyn til produktionsrater. Desuden ses det også fra tabellen, at metanforbruget for SMR-CCS kan variere langt mere end metanpyrolysen, hvilket kan give flere frihedsgrader til et anlægs størrelse.

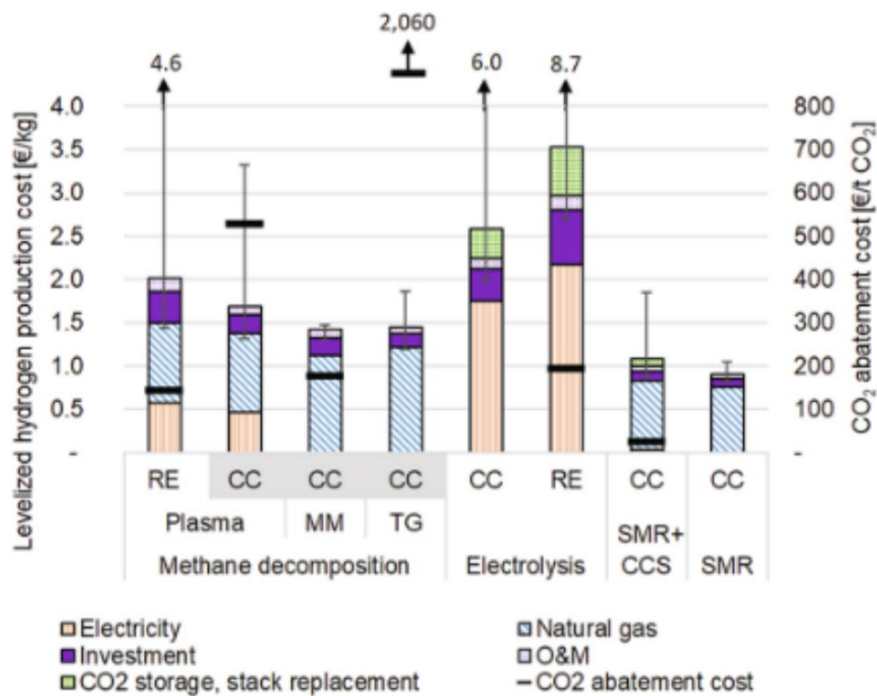
### Konstruktionstid

Konstruktionstiden for et generisk metanpyrolyseanlæg antages at være 2 år baseret på erfaring fra SMR/ATR-hydrogenanlæg med samme størrelse og kompleksitet.

### Finansielle data

De forventede investering og drifts- vedligeholdelsesomkostninger er givet i figur 5.

Det kan ses, at de angivne metanpyrolyseteknologier har en højere investering end de eksisterende SMR/ATR-CSS-teknologier. Samtidigt kan det ses, at metanpyrolysen vil have større udgifter i form af naturgastilførsel og elektricitetsforbrug. Elektrolyseteknologierne ses at være de dyreste teknologier at investere i, samtidigt med at de har det højeste elektricitetsforbrug. Elektrolyse tilsluttet vedvarende energi er dog den dyreste teknologi, både med hensyn til energiforbrug og investeringsomkostning.



Figur 5 Normaliserede udgifter for forskellige teknologier. RE (renewable energy), CC (combined cycle power plants), MM (molten metal), TG (thermal gas) I

### Dansk perspektiv

Metanpyrolyse er en teknologi, der kan producere brint fra metan med sortkarbon som biprodukt. Danmark (nævn tiden) har et lavt forbrug af brint, og den metangas, der stammer enten fra bionaturgas eller naturgas, bruges som brændsel til el og varme<sup>2</sup>. Danske virksomheder har planer om projekter, der omhandler produktion af brint, som kan bruges som energibærer. Dog er præmissen, at produktionen skal udføres ud fra el via elektrolyse og således ikke gøre brug af metangasstrømmene til pyrolyse<sup>3</sup>. Hvis der tages udgangspunkt i figur 4, er det klart, at elektrolyse er den klimavenlige løsning for et land, som har adgang til grøn strøm. Det vil altså ikke give mening for et land som Danmark at investere i en metanpyrolyseteknologi, der skal gøre brug af en energibærer til at producere en anden energibærer, når elektrolyseteknologien kan lagre den grønne energi.



I andre lande, såsom Tyskland, er brintforbruget primært fokuseret på kemiindustrien fremfor energisektoren. I 2021 blev størstedelen af Tysklands brintproduktion brugt på raffinaderier og til kunstgødningsproduktion<sup>5</sup>. I dette tilfælde giver det mening at bruge en potentiel energibærer til produktion af brint, når brinten bruges som kommerciel kemisk byggekloks.

Ved implementering og evaluering af metanpyrolyse, skal det analyseres, hvorvidt brinten skal bruges som energibærer eller som kemisk byggekloks. Indtil videre med danskernes nuværende lave forbrug af brint enten som energibærer eller kemisk byggekloks har metanpyrolysen ikke noget potentiale i Danmark.

## Bibliografi

- 1 [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_renewable\\_fuels.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf)
- 2 <https://ens.dk/ansvarsomraader/olie-gas/om-olie-og-gas>
- 3 <https://orsted.dk/vores-groenne-loesninger/havvind/brint-i-danmark>
- 4 <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-in-a-low-carbon-economy.pdf>
- 5 <https://fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/hydrogen-demand>