

# Rapport

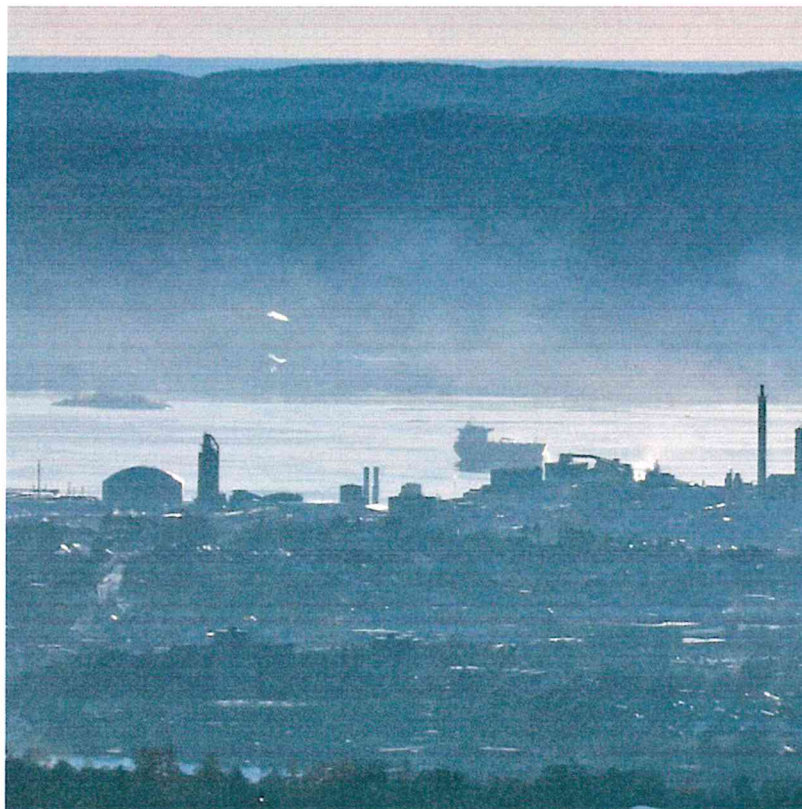
## Mulighetsanalyse av CCU ved Herøya Industripark

Knyttet til utnyttelse av CO<sub>2</sub> fra kalsinering hos RHI som råstoff for syntetisk drivstoff og andre anvendelser

### Forfattere

Daniel Gløsen

Sigmund Langedal Breivik



SINTEF Industri  
Postadresse:

Sentralbord: 40005100

info@sintef.no

Foretaksregister:  
NO 919 303 808 MVA

# Rapport

## Mulighetsanalyse av CCU ved Herøya Industripark

EMNEORD:  
CCU  
CO<sub>2</sub>  
Herøya Industripark  
RHIVERSJON  
2DATO  
2019-08-30FORFATTER(E)  
Daniel Gløsen  
Sigmund Langedal BrevikOPPDRAGSGIVER(E)  
SINTEF :Grønne Bærekraftige Sommerjobber 2019

OPPDRAGSGIVERS REF.

PROSJEKTNR  
102017118-2ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
19+ vedlegg

### SAMMENDRAG

Denne mulighetsanalysen drøfter status og aktører innenfor fangstteknologier og bruksområder for CO<sub>2</sub>. Industribedriften RHI har blitt brukt som et eksempel på en bedrift som kan begynne med CO<sub>2</sub>-fangst i Herøya Industripark i Porsgrunn. Fangstteknologiene som er diskutert er i hovedsak aminabsorpsjon, kalsiumlooping, adsorpsjon ved temperatursvingninger, membraner og alger. Fordeler og ulemper blant disse har blitt diskutert.

CO<sub>2</sub> inngår i en rekke produkter som det er marked for i dag. Dette inkluderer blant annet kjemiske stoffer som metanol og urea, syntetisk drivstoff og matprodukter som brus og grønnsaker.

Med utslippsdata fra RHI har det blitt forsøkt å finne passende måter å utnytte CO<sub>2</sub> fra deres kalsineringsprosess. Basert på røygassens volum og sammensetning målt i en konsesjonsmåling fra 2018, virker aminabsorpsjon og algedyrking enklest å få til uten endringer i prosessen. Det kan finnes muligheter hos RHI for å øke konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i røygassen, som vil gjøre andre fangstteknologier mer aktuelle. Mulige samarbeidspartnere for RHI kan være hydrokarbonprodusenten Nordic Blue Crude og CO<sub>2</sub>-distributøren Nippon Gases. Hvilke utnyttelsesmetoder som er best å velge kan ikke avgjøres før grundige kostnadsanalyser har blitt gjort.

UTARBEIDET AV  
Daniel Andreas Monsen Gløsen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV  
Kristian Aas

SIGNATUR

GODKJENT AV  
Hans Aksel Haugen

SIGNATUR

RAPPORTNR  
2019:00801ISBN  
978-82-14-06394-3GRADERING  
ÅpenGRADERING DENNE SIDE  
Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
2	2019-08-30	Endelig rapport
1	2019-08-02	Rapporten er skrevet, av studenter, som en del av SINTEFs "Grønne Bærekraftige Sommerjobber"-program gjennom et åtte ukers langt prosjekt hos SINTEF Tel-Tek i Porsgrunn.

## Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Fangstteknologier for CO<sub>2</sub></b> .....	<b>6</b>
2.1	Aminabsorpsjon.....	6
2.2	Kalsiumlooping.....	7
2.3	Temperature swing adsorption .....	7
2.4	Membraner .....	8
2.5	Alger som fangstmiddel.....	8
2.6	Andre teknologier .....	9
<b>3</b>	<b>Bruk av CO<sub>2</sub></b> .....	<b>10</b>
3.1	Kjemisk bruk av CO <sub>2</sub> .....	10
3.1.1	Urea.....	10
3.1.2	Maursyre.....	10
3.1.3	Metanol .....	10
3.1.4	Nordic Blue Crude - hydrokarboner.....	11
3.2	Nippon Gases.....	11
3.3	Alger som bruksmiddel.....	12
3.3.1	Finkjemikalier til bruk i legemiddelindustrien og i kosmetikk.....	12
3.3.2	Alger som næringsmiddel i helsekost og fiskeoppdrett.....	12
3.3.3	Omdanning av alger til biobrensel.....	12
3.3.4	Krav til renhet.....	12
3.4	Drivhus.....	12
<b>4</b>	<b>Muligheter for CO<sub>2</sub>-fangst hos RHI</b> .....	<b>13</b>
4.1	Kalsinering av dolomitt.....	13
4.2	Røykgassens sammensetning.....	13
4.3	Viktige parametere for CO <sub>2</sub> -fangst.....	14
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Takk</b> .....	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>17</b>
<b>A</b>	<b>Sammendrag fra RHI Normag AS Konesjonsmåling 2018</b> .....	<b>20</b>

## 1 Introduksjon

Det siste året har det vært store protester fra miljøbevegelser og skoleelever mot politikeres fravær i klimadebatten. Et forslag som har blitt diskutert, er å øke prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter. Dette vil føre til at det blir dyrere for industribedrifter å slippe ut CO<sub>2</sub>, og de må derfor tenke nytt når det kommer til utslipp av klimagasser. Da kan interessen for å begynne med CCU, karbonfangst og -utnyttelse, vekkes for fullt.

I Norge har vi stor tilgang på billig elektrisitet og ingeniørkompetanse innen mange felt, som gjør at alt ligger til rette for en norsk satsning på CO<sub>2</sub>-fangst. Industrial Green Tech er en industriklynge med ambisjon om å gjøre Telemark til verdens første klimapositive industriregion. For å klare det, må man gjøre noe med CO<sub>2</sub>-utslippet. Herøya Industripark står for store deler av Norges CO<sub>2</sub>-utslipp, og det gjør industriparken til et svært interessant sted å drive med karbonfangst.

Denne rapporten vil prøve å gi et bilde på mulighetene som finnes i dag for å fange CO<sub>2</sub> fra røykgass i industrien, og hvilke områder som kan dra nytte av CO<sub>2</sub>. I samarbeid med magnesiumoksidprodusenten RHI Normag på Herøya Industripark har deres fabrikk blitt sett på som en kandidat til å begynne med CO<sub>2</sub>-fangst.

## 2 Fangstteknologier for CO<sub>2</sub>

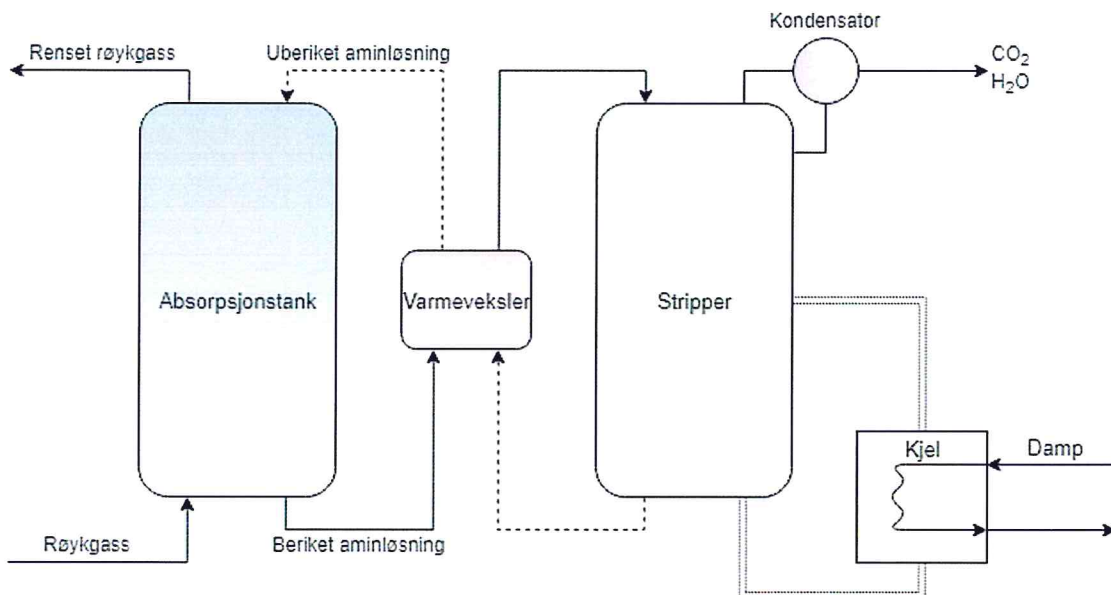
Her vil forskjellige typer CO<sub>2</sub>-fangstteknologier forklares og drøftes. Det vil bli diskutert kostnader, effektivitet, hva man får ut og hva man må tilføre. I tillegg vil Technology Readiness Level (TRL) diskuteres, en skala fra 1 til 9 over hvor godt utviklet en teknologi er, der 9 er mest utviklet [1]. Dersom ikke annet er oppgitt, er prosenter koblet til CO<sub>2</sub>-konsentrasjon gitt i volumprosent.

### 2.1 Aminabsorpsjon

CO<sub>2</sub>-fangst med aminer er en velprøvd og fungerende teknologi og er vurdert til å være kostnadseffektiv ned mot 4 % CO<sub>2</sub> i avgassen, men desto høyere CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er, desto mer lønnsom er fangsten [2]. Flere produsenter lager slike CO<sub>2</sub>-fangere og teknologien har blitt testet grundig. Derfor har aminabsorpsjon en TRL på mellom 6 og 9 avhengig av type aminteknologi [3].

Teknologien går ut på at røykgass kjøles ned til 30-40 °C og sendes inn i en absorpsjonstank hvor en aminløsning tar opp CO<sub>2</sub>. Løsningen blir så varmet opp i en kjel til ca. 120 °C [4], ofte med damp på 130 °C, før den gir slipp på CO<sub>2</sub>-molekylene i en stripper. Konsentrasjonen man får ut kan bli >99%, og anlegget kan fange 90% av røykgassen som puttes inn [2].

Det kreves fra rundt 700-1 000 kWh for å fange ett tonn CO<sub>2</sub>, og den største energibruken er i dampproduksjonen. I tillegg kreves det 100 kWh per tonn for å gjøre CO<sub>2</sub>-en flytende og klar til transport. Det er derfor en fordel hvis damp allerede er tilgjengelig på området eller at for eksempel spillvarme fra prosessene kan brukes til å produsere damp. [2]



Figur 1 - Forenklet diagram over en MEA-prosess. Diagrammet er basert på et engelsk diagram av W. Sanz [5].

Et problem med aminabsorpsjon er at man helst bør unngå urenheter som O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og sot i røykgassen fordi de fører til at aminene blir degradert. Etter hvert må man bytte ut aminløsningen, og dette blir regnet som farlig avfall som må håndteres riktig [6].

Den store fordelen med aminteknologi er at den er kostnadseffektiv sammenlignet med andre teknologier ved lave CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i røykgassen [2]. Man trenger heller ikke å gjøre endringer i industriprosessene, annet enn å lage infrastruktur for frakting av røykgassen.

Aker Solutions er en leverandør av aminanlegget Just Catch som kan fange opp til 100 000 tonn CO<sub>2</sub> i året per modul. De har avtaler med sementfabrikken Norcem i Brevik og avfallsanlegget Twence i Nederland om å lage storskala CO<sub>2</sub>-fangstanlegg som skal være operative i hhv. 2021 og 2023 [7].

Absorpsjon ved hjelp av monoetanolaminer (MEA) har blitt estimert til å koste 69 \$/tonn CO<sub>2</sub> [8]. Det er vanlig å bruke MEA, men det finnes aminanlegg som ikke bruker MEA og derfor kan være billigere, for eksempel Aker sitt. Aminanlegg som er mer integrert i prosessen for å få utnyttet overskuddsvarme kan også få en annen pris.

## 2.2 Kalsiumlooping

Kalsiumlooping, eller CaL (Calcium Looping), er en form for absorpsjon med fast stoff. Det går ut på at kalsiumoksid, CaO, reagerer med CO<sub>2</sub> og danner kalsiumkarbonat, CaCO<sub>3</sub>. CaL er i hovedsak delt opp i to prosesser: kalsinering og karbonering.

I karbonatoren skjer en eksoterm prosess der CaCO<sub>3</sub> dannes. Der er det en temperatur på 650-700 °C. I kalsinatoren varmes CaCO<sub>3</sub> til >900 °C slik at CO<sub>2</sub> frigis [9]. Det krever mye energi å komme opp i slike temperaturer, men hvis man klarer å innlemme prosessen slik at man bruker varme fra karbonatoren til å varme opp kalsinatoren, og bruker overskuddsvarme til å generere strøm, kan effektiviteten totalt sett bli stor.

Med en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i røykgassen på 15-30% klarer man å fange over 90% av CO<sub>2</sub>-en [9]. Konsentrasjonen på CO<sub>2</sub> som kommer ut er lite dokumentert, men i en simulering av Shimizu et al. fra 1999 ble det oppnådd en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på over 95%, basert på røyk fra kull [10].

Med CaL opererer man med faste stoffer, som er vanskeligere å transportere enn fluider. Man har ikke noe farlig avfall knyttet til CaL, og man tåler å ha urenheter i røykgassen. Dersom man har SO<sub>2</sub> i røykgassen, kan det felles ut som CaSO<sub>4</sub>, som gjør at man slipper å ha en rensing i forkant av prosessen [10].

CaO forbrukes i prosessen, og må fylles på etter hvert. Dette kan skaffes fra kalkstein, som er en billig råvare. Dersom man allerede har kalk eller andre kalsiumprodukter i produksjonen, kan man se på utnyttelse av sine egne biprodukter.

TRL ligger på 6 [3], og det finnes noen nye prosjekter og bedrifter som utnytter CaL. Norske ZEG Power bruker teknologien som en del av hydrogen- og elektrisitetsproduksjon [11]. EU-prosjektet SCARLET har testet ut CaL i 1 MW-skala, og viste at det for et kullfyrt anlegg er mulig å få en fangstrate på 90-95% med en pris på 20-27 €/tonn CO<sub>2</sub> [12].

## 2.3 Temperature swing adsorption

Temperature swing adsorption (TSA) er en adsorpsjonsmetode som benytter temperatursvingninger. Ved adsorpsjon binder CO<sub>2</sub>-molekylene seg til overflaten av et stoff. Stoffet tar opp CO<sub>2</sub> fra røykgassen ved en lavere temperatur og frigir den fangede CO<sub>2</sub>-en ved en høyere temperatur. Med en TRL på 6 er TSA i utviklingsfasen og på vei til å bli kommersielt [3]. Det som har vært en utfordring

er å få prosessen til å gå raskere [2], men kanadiske Inventys sin VeloxoTherm-prosess skal være 40 til 100 ganger raskere enn konvensjonell TSA [13].

Mange adsorbenter klarer ikke å skille urenheter som  $\text{SO}_x$  og HCl fra  $\text{CO}_2$ , man trenger i så fall et rensesystem i forkant. Det kan også være en ulempe med vann eller fukt. De mest avanserte adsorbentene kan bli svært dyre [14]. En stor fordel er derimot at man får ingen avfallsstoffer eller skadelige utslipp.

Inventys lager moduler med kapasitet opp til 600 tonn  $\text{CO}_2$  per dag [15], som tilsvarer 219 000 t/år. De skal kunne produsere  $\text{CO}_2$  med konsentrasjon 80-99% fra røykgass med 10-40%  $\text{CO}_2$  [15]. Energiforbruket er på omtrent 1,5 GJ/t  $\text{CO}_2$  [14], og prisen skal ligge på 25 \$/tonn  $\text{CO}_2$  [8].

## 2.4 Membraner

Membraner er porøse filtre som designes til å slippe gjennom spesifikke gasser. Slik kan de brukes til å separere  $\text{CO}_2$  fra røykgass.

En stor fordel med membraner er at de er forholdsvis enkle å ha med å gjøre. De er skalerbare og kan brukes kontinuerlig. Flere membraner kan pakkes tett sammen slik at man får et relativt lite system som er enkelt å frakte. Man kan benytte røykgassen direkte, fordi membraner separerer bort  $\text{CO}_2$  selv om røyken inneholder både urenheter og fukt. Det er heller ikke behov for oppvarming med damp, slik det er for andre fangstmetoder. [2]

Ulempene er at jo lavere  $\text{CO}_2$ -konsentrasjoner det er i røykgassen, jo vanskeligere er det å få ut høykonsentrert  $\text{CO}_2$ . Da må man eventuelt ha flere fangstanlegg i serie, og det kan bli dyrt. I tillegg blir membranene etter hvert slitte og må byttes ut.

Teknologien har en TRL på rundt 6, men den forskes mye på membraner. NTNU samarbeider med amerikanske Air Products om å lage mer effektive og økonomiske membraner for  $\text{CO}_2$ -fangst [16]. Membranprodusenten MTR selger systemer som skal lage  $\text{CO}_2$  med konsentrasjon over 99%, da fra røykgass med 25%  $\text{CO}_2$  [17].

Dersom man ønsker en fangstrate på over 90%, er det vanskelig å få det til billigere enn 40 \$/tonn  $\text{CO}_2$  med membraner [8]. Prisen blir lavere dersom man har høyere  $\text{CO}_2$ -konsentrasjon inn og kravet til fangstrate og renhet ut er lavere.

## 2.5 Alger som fangstmiddel

Industriell produksjon av alger tar utgangspunkt i den naturlige biologiske prosessen hvor fototrofiske alger tar opp  $\text{CO}_2$ , næringssalter og sollys, og vokser ved hjelp av fotosyntese [18]. Alger tar vanligvis opp  $\text{CO}_2$  fra luften i atmosfæren, men siden røykgass fra industrien inneholder store mengder  $\text{CO}_2$ , er det mulig å utnytte denne direkte før den slippes ut i atmosfæren. På den måten nyttiggjør man mulig skadelig utslipp.

Alger er avhengige av lys for å leve og formere seg. Det er mulig å bruke kunstig lys, slik at man kan lyse opp utendørsanlegg de timene hvor det ikke er dagslys, eventuelt lage innendørsanlegg som er konstant opplyst av kunstig lys. Fordelen med kunstig lys er at man kan lage akkurat den typen lys som gir best vekst for algene [19]. Ulempen er at selv om man bruker energieffektive LED-lys, vil det likevel kreve en stor mengde strøm for å lyse opp et algeanlegg i storskala. Når man skal produsere



store mengder alger må man passe på at de ikke skygger for hverandre. Derfor er det nødvendig med store overflater slik at mest mulig lys treffer flest mulig alger.

En annen viktig ingrediens er CO<sub>2</sub>. Algenes CO<sub>2</sub>-opptak er omtrent det dobbelte av tørrvekten til algene [20]. Det betyr at med 100 000 tonn CO<sub>2</sub> kan man i beste fall klare å lage rundt 50 000 tonn alger. Utfordringen er å få CO<sub>2</sub>-gassen inn i vannfasen hvor algene produseres [21]. Frakting av røykgassen krever ny infrastruktur, så det vil være hensiktsmessig å plassere et algeanlegg nærmest mulig utslippspunktet.

Alger trenger også næringssalter som for eksempel mangan, silisium, nitrogen og svovel, avhengig av hvilke algearter man dyrker. Disse kan finnes naturlig i industrirøykgass, og derfor er det både mulig og fordelaktig å mate algene direkte med røykgassen uten å rense ut disse stoffene.

Det forskes på hva som er gunstige forhold for algevekst. En temperatur i vannet på 15-26 °C er foretrukket, selv om noen alger kan leve i opptil 80 °C. Samtidig ønsker man en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i røykgassen på rundt 1-10% i tillegg til maksimum 300 ppm NO<sub>x</sub> og 100 ppm SO<sub>x</sub> [22].

Ved smelteverket i Finnfjord driver de med CO<sub>2</sub>-fangst ved hjelp av alger, og algene skal brukes som fiskefôr [23]. Det samme gjøres på Mongstad gjennom prosjektet CO2Bio [24]. Cyanotech på Hawaii er en av verdens største produsenter av alger til helsekost, men de produserer i friluft uten tilknytning til industriutslipp [25]. Det er mange som driver med algeproduksjon, men det er få som har oppnådd lønnsomhet med alger som CO<sub>2</sub>-fangere [21]. Derfor har CO<sub>2</sub>-fangstanlegg basert på alger kun en TRL på 4 [3].

Bruksområder for alger drøftes i neste del av rapporten, i avsnittet Alger som bruksmiddel.

## 2.6 Andre teknologier

PSA (pressure swing adsorption) og VSA (vacuum swing adsorption) går ut på mye av det samme som TSA, men man varierer trykket i stedet for temperaturen.

Kryogenisk CO<sub>2</sub>-fangst er en fangstmetode som benytter svært lave temperaturer. Man kan få svært ren CO<sub>2</sub> i væskefase, til en pris på under 30 \$/tonn [26]. Dette er spesielt interessant dersom man har en CO<sub>2</sub>-hub tilstede [2]. Teknologien er derimot lite utbredt for konsentrasjoner under 80% [27].

Man kan også kombinere forskjellige teknologier, f.eks. først ha membraner og så TSA.

### 3 Bruk av CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> har mange forskjellige bruksområder. Gassen kan brukes for å danne andre kjemiske forbindelser, den kan utnyttes i matproduksjon, og er nødvendig for å få sprudlende brus og øl.

#### 3.1 Kjemisk bruk av CO<sub>2</sub>

Det finnes mange kjemiske produkter som kan benytte seg av CO<sub>2</sub> som råstoff i produksjonen. For eksempel kan maursyre lages av hydrogen og CO<sub>2</sub>, og urea kan lages av ammoniakk og CO<sub>2</sub>. Disse prosessene krever ofte mye energi i form av strøm, både for å lage hydrogen og for å omdanne råstoffene til produktene. Under kommer noen muligheter til kjemisk bruk av CO<sub>2</sub>.

##### 3.1.1 Urea

Urea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), eller *karbamid*, brukes som nitrogen gjødsel og i fôrtilskudd og er råstoff i mye kjemisk industri [28]. Urea er vanligvis produsert ved at man reagerer karbondioksid med ammoniakk ved høy temperatur og høyt trykk.

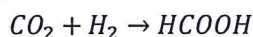
En engelsk studie har samlet informasjon om ureaproduksjon [29]. Teknologisk er den moden og gjennomført flere steder og har TRL på 9. I denne studien så de på lønnsomheten ved å bygge en fabrikk med 25 års levetid. Med dagens CO<sub>2</sub>-, ammoniakk- og strømpriser ville den ha vært lønnsom.

Ved ureaproduksjon forbrukes rundt 0,74 tonn CO<sub>2</sub> per tonn urea produsert. For at klimaavtrykket til produksjonen skal være mest mulig positivt er det viktig at strømmen som brukes i prosessen er fornybar. [29]

##### 3.1.2 Maursyre

Maursyre er en fargeløs væske med kjemisk formel HCOOH. Den brukes mye i landbruk i produksjon av silofôr og rundballer. Den brukes også til fremstilling av beis, avkalking av lær i garverier og kan bli brukt som drivstoff [30]. Maursyre, og også metanol, har potensial som lagringsmedium for hydrogen.

Den samme engelske studien som beskrev situasjonen rundt ureaproduksjon, beskrev også maursyreproduksjon [29]. Maursyre kan framstilles ved elektrokjemisk reaksjon med katalysator og reaksjonen under, fra hydrogen og CO<sub>2</sub>.



Produksjonsmetoden er ulønnsom med dagens priser, og reaksjonen må bruke grønn elektrisitet hvis klimaavtrykket skal bli positiv. Derfor er TRL for denne typen produksjon av maursyre ifølge den engelske studien på 3-5.

##### 3.1.3 Metanol

Metanoler mye brukt i kjemisk, organisk og syntetisk industri. Det er også interesse for metanol som lagringsmedium for hydrogen og som drivstoff i forbrenningsmotorer [31]. Det er en del forskjellige teknologier med forskjellig nivå av modenhet som lager metanol av hydrogen og CO<sub>2</sub>. TRL-en for disse teknologiene ligger på alt fra 3 til 8 [29].

På Island er det et anlegg som lager metanol fra CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub> som heter *George Olah Renewable Methanol Plant*. Det er det islandske selskapet *Carbon Recycling International*, CRI, som har konstruert denne fabrikk [32]. Det har vært snakk om at CRI skulle etablere seg på Herøya Industripark, men det virker som om prosjektet er satt på vent.

### 3.1.4 Nordic Blue Crude - hydrokarboner

Nordic Blue Crude (NBC) er en bedrift som har etablert seg på Herøya Industripark og vil starte bygging av første anlegg i løpet av 2020. De har som mål å produsere 10 millioner liter hydrokarbonprodukter i året fra og med 2021 [33]. Ved hjelp av Fischer-Tropsch-prosessen omdannes syntesegass bestående av karbonmonoksid og hydrogen til hydrokarboner, som igjen kan omdannes til blant annet diesel, flybensin og voks [34] [35]. For å lage syntesegass, har NBC et behov på 25 000 tonn CO<sub>2</sub>/år [34], der 95% skal komme fra industrien på Herøya og 5% fra egne Climeworks-moduler som henter CO<sub>2</sub> fra lufta [33] [36]. CO<sub>2</sub>-en som brukes må være svært ren, så mesteparten skal komme fra Nippon Gases [34]. I tillegg til CO<sub>2</sub> trenger man H<sub>2</sub>, som NBC skal produsere selv ved hjelp av elektrolyse av vann [34]. Til det trenger man mye elektrisitet, og den må være fornybar for at produktet kan bli stemplet som grønt.

Miljøstiftelsen Bellona stiller seg kritisk til å produsere drivstoff ved hjelp av store mengder strøm når man heller kan bruke elektrisiteten direkte i elbiler seks ganger mer effektivt [37]. Nordic Blue Crude skal derimot ikke bare produsere drivstoff til personbiler – de skal også lage syntetisk flybensin og voksprodukter. Inntil flytrafikken elektrifiseres vil det være et stort behov for flybensin, og NBC sin blir mulig å benytte i de eksisterende flyene akkurat som vanlig flybensin [33].

Produksjonskostnadene er beregnet til å bli omtrent 1,5 €/liter flybensin, inkludert raffinering og distribusjon. Nye teknologier som dampelektrolyse og co-elektrolyse kan gjøre produksjonen mer effektiv. [34]

## 3.2 Nippon Gases

Nippon Gases Norge er en ledende produsent av gassprodukter i Norge og leverer bl.a. CO<sub>2</sub> i flytende form, i gassform og i fastform som tørris. De komprimerer, renser og gjør flytende rundt 240 000 tonn CO<sub>2</sub>/år. I Norge selger de totalt rundt 80 000 tonn CO<sub>2</sub>/år til aktører som for eksempel brus- og ølfabrikker og kjøling i matvareindustrien mens resten fraktes med skip til kunder i utlandet via mottaksterminaler.

CO<sub>2</sub>-en de distribuerer er svært ren og har en konsentrasjon på over 99%. Det betyr at de er avhengige av å ta inn CO<sub>2</sub> med allerede høy konsentrasjon inn i sine renseprosesser. I dag kommer dette fra Yara, som i sin ammoniakkproduksjon får høykonsentrert CO<sub>2</sub> ut som et biprodukt. Leveranse av CO<sub>2</sub> fra Yara betinger derfor at ammoniakkproduksjonen er i drift.

Det diskuteres med aktører en produksjon av bioenergiprodukter på Herøya basert på CO<sub>2</sub> og hydrogen. Det betyr et økt behov for CO<sub>2</sub> ut over det som Nippon Gases Norge i dag får fra Yara, men som kan leveres fra Yara som rågass forutsatt at ammoniakkproduksjonen er i drift. I fremtiden kan det derfor være fordelaktig for Nippon Gases å ha en reservkilde til CO<sub>2</sub> i tilfeller der Yara ikke kan levere den mengden som trengs. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen de tar inn bør ligge på over 97% og gassen bør inneholde minimalt med urenheter som SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub>. Andre kvalitetskrav kan gjelde dersom CO<sub>2</sub> skal leveres til andre fremtidige aktører på Herøya. [38] [39]

### 3.3 Alger som bruksmiddel

For at algeproduksjonen skal være lønnsom, er det nødvendig å skape et høyverdig produkt. Det er flere mulige alternativer.

#### 3.3.1 Finkjemikalier til bruk i legemiddelindustrien og i kosmetikk

I legemiddel- og kosmetikkindustrien kan alger få verdier fra 150 \$/kg og oppover [40]. Man kan utnytte alger til å lage antioksidanter og midler mot fedme og diabetes, og kosmetikken kan bruke alger til binde- og tykningsmidler [40].

#### 3.3.2 Alger som næringsmiddel i helsekost og fiskeoppdrett

Alger er en viktig del av den biologiske livssyklusen i havet. De er en del av kosten til krill som igjen er kosten til fisk. Fiskeoppdrettsnæringen har behov for omega-3-fettsyrer i fiskefôret de bruker. Tradisjonelt kommer det fra fiskeavfall, men behovet for omega-3 øker [41]. Derfor er det allerede flere prosjekter som driver med algeproduksjon til bruk i fiskefôr, slik som CO2Bio på Mongstad. I tillegg til omega-3, har helsekosten et marked for spirulina og betakaroten som kan lages ved hjelp av alger [40].

#### 3.3.3 Omdanning av alger til biobrensel

Omdanning til biobrensel er en energikrevende prosess. Algene skiller ut lipider som gjennom en rekke kjemiske reaksjoner kan omdannes til biodiesel [42]. Det er energikrevende og kostbart fordi man trenger å produsere eller kjøpe kjemikalier som skal ta del i reaksjonene. Derfor er det ikke sikkert at man klarer å produsere det til en konkurransedyktig pris [21].

#### 3.3.4 Krav til renhet

De ulike produktene har ulike krav til renhet. I produksjon av legemidler og helsekost kan man ikke bruke CO<sub>2</sub> fra spillolje, den må i så fall renses først, mens for produksjon av biodiesel er ikke dette et problem. Derfor kan det bli dyrt å produsere finkjemikalier, men samtidig er det mye penger i legemiddel- og helsekostindustrien [21].

### 3.4 Drivhus

Planter livnærer seg på vann, sollys og CO<sub>2</sub>, og det er vanlig for norske gartnerier å tilføre CO<sub>2</sub> for å få økt vekst. Med en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 800-1000 ppm, kan man få 30-40% bedre vekst enn man ville fått i vanlig utendørsatmosfære som har rundt 400 ppm. [43]

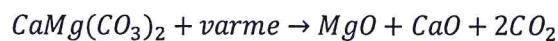
## 4 Muligheter for CO<sub>2</sub>-fangst hos RHI

RHI Normag holder til i Herøya Industripark og er et datterselskap av RHI Magnesita. De produserer magnesiumoksid (MgO) fra dolomittstein (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). En av hoveddelene i prosessen er kalsineringen, som skjer i en kalsinator. Det er mulighetene for fangst av CO<sub>2</sub>-en fra utslippet til RHI sin kalsinator som drøftes i denne delen.

### 4.1 Kalsinering av dolomitt

Ved full produksjon slipper kalsinatorene ut i overkant av 100 000 tonn CO<sub>2</sub> per år. 30% av utslippet kommer fra forbrenning av olje og gass, resten kommer fra dolomitten.

I kalsinatorene utsettes dolomitten for høy varme (1200 °C) slik at den dekomponerer, slik:



Kalsinering av dolomitt gir i tillegg til MgO og CO<sub>2</sub> kalsiumoksid (CaO). Dette blir ikke utnyttet og blir sluppet ut i Frierfjorden som avfall.

Som brensel brukes olje og noe gass. Oljen som brukes er spillolje, men det er mulig å bruke alle slags andre brensel med tilstrekkelig brennverdi. Andre brenslere kan ha renere utslipp, men kostnadene ved bruken av disse er mye høyere enn å bare bruke spillolje og rense røykgassen.

Forbrenningen skjer i direkte kontakt med dolomitten, slik at CO<sub>2</sub> fra forbrenning og fra dolomitten ikke er mulig å skille, alt slippes ut i samme skorstein.

### 4.2 Røykgassens sammensetning

I en konsesjonsmåling fra 2018 ble CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i røykgassen målt til 9,5% [44]. Her er et forenklet utdrag med de viktigste parameterne fra konsesjonsmålingen. Fullstendig skorsteinssammendrag fra konsesjonsmålingen er vedlagt i [vedlegg A](#).

Tabell 1 - Røykgassdata RHI

Parameter	Størrelse	Enhet
Temperatur	129	°C
Volumstrøm	140 000	m <sup>3</sup> /h
CO <sub>2</sub>	9,5	%
O <sub>2</sub>	15,8	%
CO	7,0	mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	61	mg/m <sup>3</sup>
HCl	0,25	mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1,7	mg/m <sup>3</sup>
Partikler	5,1	mg/m <sup>3</sup>

Røykgassen som kommer ut har altså en temperatur på rundt 130 °C. Konsentrasjonene av urenheter som NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og HCl er små og vil stort sett ikke komplisere eventuell CO<sub>2</sub>-fangst. Den høye konsentrasjonen av O<sub>2</sub> kan gjøre aminfangst mer komplisert.

Ved et besøk hos RHI 30. juli 2019 ble det avlest en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 17,4%, og en O<sub>2</sub>-konsentrasjon på rundt 5%. Dette er målinger tatt på et tidligere stadium i prosessen enn konsesjonsmålingen fra 2018 som målte helt i toppen av skorsteina. Forskjellen kan skyldes at temperaturen i røykgassen egentlig er rundt 400 °C og kjøles ned for å ikke ødelegge rensefilter [45].

Røykgassen kjøles ned ved å bli blandet med kald luft – da blir også røykgassen mer uttynnet og vil få en annen komposisjon. Hvis det er mulig å kjøle ned lufta og fortsatt beholde en høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, vil det gjøre at man kan fange CO<sub>2</sub> mer effektivt. Dette kan derimot kreve en del store endringer i prosessen. [45]

### 4.3 Viktige parametere for CO<sub>2</sub>-fangst

Hvor klar en industribedrift er for CO<sub>2</sub>-fangst avgjøres av noen viktige parametere. Disse er vist i Tabell 2.

Tabell 2 –Viktige parametere for CO<sub>2</sub>-fangst hos RHI

Antall utslippspunkter	1
CO <sub>2</sub> -konsentrasjon	9,5 %
Overskuddsenergi	Avgass på 400/130 °C
Ledig areal	Ja
Kai/Havn	Ja
Kjølevann	Ja
Damp	Nei

RHI har bare ett punkt der avgassen slippes ut av, dette er en fordel fordi da slipper man å bygge mye ny infrastruktur. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er ikke veldig høy, men høy nok til at fangstteknologier kan brukes, det blir bare mindre effektivitet og mer kostnader.

Overskuddsenergi i form av spillvarme kan være nyttig og kutte kostnader. Det er fordi mange fangstteknologier, for eksempel aminabsorpsjon, trenger varme for å fungere. Røykgassen til RHI har en temperatur på 400 °C før den avkjøles med luft. [45] Det kan være en mulighet å innlemme denne varmen i fangstprosessen, men det må i så fall undersøkes nærmere.

Et fangstanlegg tar plass, noe som RHI og Herøya Industripark har mye av. Det samme gjelder havn ved eventuell transport av CO<sub>2</sub>-en. Kjølevann er også tilgjengelig på Herøya. RHI har ingen damp tilgjengelig, men det kan kjøpes fra andre aktører på Herøya, eller produseres selv. Alle punktene sett under ett er RHI klar for å drive med CO<sub>2</sub>-fangst. Det at de ligger på Herøya og kan dra nytte av fasilitetene på området som kai og kjølevann er en fordel.

Gjennom møte med Stig Roaas, markedssjef i Nippon Gases Norge, kom det fram at RHI kan inneha den nødvendige reserverollen med sine 100 000 tonn CO<sub>2</sub>/år fra kalsinatoren, fordi det vil dekke Norges behov. For å unngå nye rensetrinn i oppgraderingen av rågass må kvaliteten på CO<sub>2</sub> være tilsvarende som levert fra Yara. En annen ting som må avklares er forretningsmodellen siden RHI vil være avhengig av å selge sin CO<sub>2</sub> hvis de skulle investert i fangst av sin røykgass. En mulighet kan være at Nippon Gases betaler for gassen uavhengig om de bruker den eller ikke, såkalt "take-or-pay"-modell. [39]

Her er en tabell som tar for seg fordeler og ulemper ved de forskjellige CO<sub>2</sub>-fangstteknologiene spesifikt for RHI. Generelle fordeler og ulemper som ikke er av direkte relevans for RHI er drøftet tidligere i Fangstteknologier for CO<sub>2</sub>.

Tabell 3 - Fordeler og ulemper ved fangstteknologiene spesifikt for RHI

Teknologi	Fordeler	Ulemper	TRL	Pris/tonn*
Aminabsorpsjon	Aminanlegg er bedre enn andre teknologier på lave CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner (under 10%)  Overskuddsvarme fra røykgassen kan brukes i gjenoppvarmingen	Urenheter i gassen som O <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> og SO <sub>2</sub> fører til raskere degradering av aminene	6-9	\$69
Kalsiumlooping	RHI har CaO som et avfallsprodukt, og kan bruke dette i CaL-prosessen  Takler urenheter i røykgassen	Lite effektiv ved lave CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner	6	20-27€
TSA	Man kan utnytte temperaturen i røykgassen	Mange adsorbenter vil ta opp urenheter sammen med CO <sub>2</sub>	6	\$25
Membraner	Takler urenheter i røykgassen  Ikke behov for damp	Lite effektiv ved lave CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner	6	\$40
Alger	Med CO <sub>2</sub> -konsentrasjon på 9,5%, 0,061 ppm NO <sub>2</sub> og 0,0017 ppm SO <sub>2</sub> , er røykgassen fra RHI i det gunstige området og kan brukes direkte  Algene kan ta næring fra urenheterne i røykgassen	Alger til bruk i mat eller helseprodukter har ekstra krav til renhet, da kan det hende man må fyre med annet enn spillolje	4	-
Kryogenisk		Finnes ingen CO <sub>2</sub> -hub i Grenlandsområdet per 2019  Mest anvendt ved CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner over 80%	-	\$30

\*Pris angitt her er eksempler og vil kunne variere mye avhengig fra prosjekt til prosjekt. Må analyseres for hvert enkelt tilfelle.

## 5 Konklusjon

CO<sub>2</sub>-fangst er i stor grad teknisk gjennomførbart. Spørsmålet er om gevinsten er større enn kostnadene.

Kostnadene varierer stort med hvilke fangstmetoder man velger, og hvilke forutsetninger man har. Dersom man må gjøre inngrep i prosessen i et gammelt industribygg kan det koste mer enn å legge til rette for fangst i et nybygg. Teknologiutvikling, strømpriser og politiske beslutninger spiller også inn. Det er derfor nødvendig med grundige kostnadsanalyser som tar med alle disse faktorene før man kan si om det er lønnsomt å starte med CO<sub>2</sub>-fangst.

CO<sub>2</sub> kan brukes som råstoff i flere prosesser, blant annet i kjemiske produkter, algedyrking og matproduksjon. I Herøya Industripark driver Nordic Blue Crude og Nippon Gases Norge med CO<sub>2</sub>, og kan bli mulige samarbeidspartnere for RHI dersom de begynner med CO<sub>2</sub>-fangst.

Det kan være vanskelig å oppnå lønnsomhet med CO<sub>2</sub>-fattig røykgass. Med røyksammensetningen som ble målt av i 2018 er det aminfangst og algedyrking som virker mest interessant. Derfor vil det for RHI være mest aktuelt å se videre på hvordan man kan maksimere konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i røykgassen, slik at andre teknologier kan bli aktuelle. Man bør også se på mulighetene for å benytte avfallsproduktet CaO i kalsiumlooping, og om varmen i røykgassen kan utnyttes i fangstprosessene.

## 6 Takk

Dette har vært et lærerikt prosjekt, og det kunne ikke blitt gjennomført uten god hjelp fra:

RHI Normag, Herøya Industripark, Universitetet i Sørøst-Norge, Telemark Fylkeskommune, Industrial Green Tech, Nippon Gases Norge, Nordic Blue Crude, John Winterbourne, Norcem og hele gjengen på SINTEF Tel-Tek. Spesiell takk til Kristian Leonard Aas, Kjell-Arne Solli, Anette Mathisen og Rolf Olaf Larsen for veiledning.



## 7 Referanser

- [1] «Technology readiness levels (TRL),» Enova, [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.enova.no/bedrift/industri-og-anlegg/tema/technology-readiness-levels-trl/>. [Funnet 23. juli 2019].
- [2] H. A. Haugen, A. Mathisen, L. Riboldi, K. A. Hoff og C. Jayarathna, «CO2 capture potential in the Eyde cluster,» 2019.
- [3] A. Cousins, P. H. Feron, J. Hayward, K. Jiang, R. Zhai og M. Garcia, «Review of current and emerging CO2 capture technologies,» 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/globalassets/project/tccs-10/dokumenter/tccs10---book-of-abstracts.pdf#page=562>. [Funnet 23. juli 2019].
- [4] «Amine gas treating,» Wikipedia, 8. juli 2019. [Internett]. Tilgjengelig: [https://en.wikipedia.org/wiki/Amine\\_gas\\_treating](https://en.wikipedia.org/wiki/Amine_gas_treating). [Funnet 22. juli 2019].
- [5] W. Sanz, «Thermodynamic and Economic Evaluation of an IGCC Plant Based on the Graz Cycle for CO2 Capture,» ASME, Glasgow, 2010.
- [6] A. Mathisen, «Amine degradation,» Tel-Tek, [Internett]. Tilgjengelig: <http://www.tel-tek.no/eng/content/view/full/452>. [Funnet 22. juli 2019].
- [7] Aker Solutions, «Aker Solutions med gjennombrudd i markedet for karbonfangst,» Gassnova, 12. april 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.gassnova.no/no/aker-solutions-med-gjennombrudd-i-markedet-for-karbonfangst>. [Funnet 22. juli 2019].
- [8] T. Lockwood, «A Compararitive Review of Next-generation Carbon Capture Technologies for Coal-fired Power Plant,» Elsevier, 2016.
- [9] C. Abanades, «Calcium Looping,» [Internett]. Tilgjengelig: [https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/cemcap/abanades\\_calcium-looping.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/cemcap/abanades_calcium-looping.pdf). [Funnet 22. juli 2019].
- [10] M. C. Romano, I. Martínez, R. Murillo, B. Arstad, R. Blom, D. C. Ozcan, H. Ahn og S. Brandani, «Guidelines for modeling and simulation of Ca-looping processes,» European Energy Research Alliance, [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/globalassets/project/eera-ccs/eera--ca-looping-simulation-guidelines.pdf>. [Funnet 22. juli 2019].
- [11] ZEG Power, «ZEG-teknologien,» [Internett]. Tilgjengelig: <http://www.zegpower.no/homepage/var-teknologi-2/>. [Funnet 31. juli 2019].
- [12] Technische Universitat Darmstadt, «Final Report Summary - SCARLET,» 2017.
- [13] Inventys, «Technology,» [Internett]. Tilgjengelig: <http://inventysinc.com/technology/>. [Funnet 23. juli 2019].
- [14] P. A. Webley, *Adsorption process for CO2 capture: An overview*, Melbourne: The University of Melbourne, 2017.
- [15] Inventys, «Solutions,» [Internett]. Tilgjengelig: <http://inventysinc.com/solutions/>. [Funnet 23. juli 2019].
- [16] G. Wolden, «Tar i bruk teknologi som kan redusere klimautslipp,» Gemini, 19. januar 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://gemini.no/kortnytt/tar-bruk-teknologi-reducere-klimautslipp/>. [Funnet 31. juli 2019].
- [17] Membrane Technology & Research, «Cement Plants,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.mtrinc.com/our-business/carbon-capture/cement-plants/>. [Funnet 31. juli 2019].

- [18] E. S. Egeland og J. Throndsen, «Alger,» Store Norske Leksikon, 20. februar 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/alger>. [Funnet 25. juni 2019].
- [19] C. Benjaminsen, «LED-belysning og mikroalger kan bli big business,» Gemini, 3. mai 2016. [Internett]. Tilgjengelig: <https://gemini.no/2016/05/her-blir-en-biologisk-mikrofabrikk-til/>. [Funnet 25. juni 2019].
- [20] Oilgae, «Capture of CO2 Emissions Using Algae,» Chennai.
- [21] J. Hovland, Intervjuobjekt, *Algeproduksjon*. [Intervju]. 24. juni 2019.
- [22] R. Skagestad, H. Sørensen, T. W. Thomassen, J. Hovland og H. A. Haugen, «CO2stCap - Cutting Cost of CO2 Capture in Process Industry (Deliverable No. 2.2 Use of biomass in partial capture systems, including the use for external energy supply),» 2018.
- [23] «Finnfjord vil lage fiskefôr av CO2,» Industri Energi, 22. mai 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.industrienergi.no/nyhet/finnfjord-vil-lage-fiskefor-av-co2/>. [Funnet 1. august 2019].
- [24] SalmonBusiness, «Algae tested as salmon feed at Norway's biggest oil refinery,» 16. oktober 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://salmonbusiness.com/algae-tested-as-salmon-feed-at-norways-biggest-oil-refinery/>. [Funnet 1. august 2019].
- [25] Cyanotech, «Our History,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.cyanotech.com/our-history/>. [Funnet 1. august 2019].
- [26] SES Innovation, «Cryogenic Carbon Capture,» [Internett]. Tilgjengelig: [https://sesinnovation.com/technology/carbon\\_capture/](https://sesinnovation.com/technology/carbon_capture/). [Funnet 1. august 2019].
- [27] D. Berstad, «Cryogenic Low Temperature CO2 Separation,» Sintef, [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/alle-laboratorier/felleseuropeiske-co2-laboratorier-eccsel/cryogenic/>. [Funnet 1. august 2019].
- [28] E. Uggerud, «Urea,» 10. januar 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/urea>. [Funnet 28. juni 2019].
- [29] S. S. Sean M. Jarvis, «Technologies and infrastructures underpinning future CO2 value chains: A comprehensive review and comparative analysis,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 46-68, 5. oktober 2017.
- [30] E. Uggerud, «Maursyre,» Store Norske Leksikon, 2. oktober 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/maursyre>. [Funnet 31. juli 2019].
- [31] E. Uggerud, «Metanol,» Store Norske Leksikon, 7. mai 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/metanol>. [Funnet 31. juli 2019].
- [32] C. R. International, «World's Largest CO2 Methanol plant,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.carbonrecycling.is/george-olah>. [Funnet 31. juli 2019].
- [33] M. Risberg, «Tatt rett ut av luften,» Aftenposten innsikt, 2. februar 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <http://www.aftenposteninnsikt.no/klimamilj/tatt-rett-ut-av-luften>. [Funnet 24. juli 2019].
- [34] R. Bruknapp, Intervjuobjekt, *Telefonsamtale om Nordic Blue Crude*. [Intervju]. 17. juli 2019.
- [35] U. Blindheim, «Fischer-Tropsch-prosessen,» Store Norske Leksikon, 14. februar 2009. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/Fischer%E2%80%93Tropsch-prosessen>. [Funnet 24. juli 2019].
- [36] Climeworks, «Our technology,» Climeworks, [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.climeworks.com/our-technology/>. [Funnet 24. juli 2019].

- [37] K. G. Flekkøy, «En klima-seier: EU-parlamentet stopper e-dieselen,» Bellona, 19. januar 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://bellona.no/nyheter/co2-fangst-og-lagring/2018-01-klima-seier-eu-stopper-e-diesel>. [Funnet 24. juli 2019].
- [38] Nippon Gases, «Karbondioksid,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://nippongases.com/no/gasser/karbondioksid>. [Funnet 1. august 2019].
- [39] S. Roaas, Intervjuobjekt, *Møte om Nippon Gases*. [Intervju]. 10. juli 2019.
- [40] Oilgae, «Algae - Important Products And Applications,» [Internett]. Tilgjengelig: [http://www.oilgae.com/non\\_fuel\\_products/non\\_fuel\\_products\\_from\\_algae.html](http://www.oilgae.com/non_fuel_products/non_fuel_products_from_algae.html). [Funnet 1. august 2019].
- [41] Universitetet i Stavanger, «Alger kan bli nytt superfôr,» Forskning.no, 22. oktober 2014. [Internett]. Tilgjengelig: <https://forskning.no/sjodyr-oppdrett-partner/alger-kan-bli-nytt-superfr/535194>. [Funnet 25. juni 2019].
- [42] L. Weaver, «Making Biodiesel From Algae,» ThoughtCo, 3. juli 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.thoughtco.com/making-biodiesel-from-algae-85138>. [Funnet 1. august 2019].
- [43] A. Sand, Intervjuobjekt, *Telefonsamtale om norske gartnerier*. [Intervju]. 1. august 2019.
- [44] L. K. Gram og M. Hogsnes, «Målinger av utslipp til luft: Konesjonsmåling 2018,» RHI Normag, 2019.
- [45] S. Endresen, Intervjuobjekt, *Omvisning hos RHI*. [Intervju]. 30. juli 2019.

## A Sammendrag fra RHI Normag AS Konesjonsmåling 2018



### Sammendrag

Målinger av utstlipp til luft er utført hos RHI Normag i Porsgrunn, høsten 2018. Et sammendrag av resultatene finnes i Tabell 1 og 2.

**Tabell 1 Sammendrag skorsteiner**

Parameter	Enhed	Roterovn	Kalsinator	Lysbueovner	Kjøling MgO
Dato	dd-mm-åå	29-10-18	30-10-18	31-10-18	01.11.2018

#### Hjælpeparametre

Temperatur	°C	183 ± 2,5	129 ± 2,5	28 ± 1,5	18 ± 1,5
CO <sub>2</sub>	vol% (tør)	8,5 ± 0,085	9,5 ± 0,10	-	-
O <sub>2</sub>	vol% (tør)	9,4 ± 0,094	15,8 ± 0,16	-	-
Volumenstrøm	m <sup>3</sup> (n,t)/h	39 000 ± 4 000	140.000 ± 10.000	300.000 ± 30.000	190.000 ± 20.000

#### Koncentrationer

CO	mg/m <sup>3</sup> (ref)	2,7 ± 2	7,0 ± 4	-	-
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	60 ± 9	< 5
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (ref)	170 ± 10	61 ± 20	-	-
TVOC	mg C/m <sup>3</sup> (ref)	< 3	< 3	-	-
HCl	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	< 0,04	0,073 ± 0,07
HCl	mg/m <sup>3</sup> (ref)	0,076 ± 0,08	0,25 ± 0,3	-	-
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	0,060 ± 0,06	0,078 ± 0,08
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> (ref)	< 0,07	1,7 ± 0,2	-	-
H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	< 0,08	< 0,2
HF	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	< 0,04	< 0,07
HF	mg/m <sup>3</sup> (ref)	< 0,1	< 0,09	-	-
Partikler	mg/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	0,56 ± 0,1	0,85 ± 0,1
Partikler	mg/m <sup>3</sup> (ref)	0,34 ± 0,1	5,1 ± 0,6	-	-
Hg	mg/m <sup>3</sup> (ref)	0,00060 ± 0,0004	0,00031 ± 0,0003	-	-
Σ Cd & Tl	mg/m <sup>3</sup> (ref)	0,00058 ± 0,00006	< 0,001	-	-
Σ As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb & V	mg/m <sup>3</sup> (ref)	0,013 ± 0,001	0,028 ± 0,003	-	-
Dioxiner (I-TEQ)	ng/m <sup>3</sup> (ref)	< 0,003	< 0,008	-	-
Dioxiner (I-TEQ)	ng/m <sup>3</sup> (n,t)	-	-	< 0,003	-

#### Emissioner

CO	kg/h	0,11	0,47	-	-
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	kg/h	7,0	4,0	18	< 1,0
TVOC	g C/h	< 100	< 200	-	-
HCl	kg/h	0,0032	0,017	< 0,01	0,014
SO <sub>2</sub>	kg/h	< 0,003	0,11	0,018	0,015
H <sub>2</sub> S	g/h	-	-	< 20	< 40
HF	g/h	< 5	< 6	< 10	< 10
Partikler	kg/h	0,014	0,34	0,17	0,16
Hg	g/h	0,025	0,020	-	-
Σ Cd & Tl	g/h	0,0024	< 0,09	-	-
Σ As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb & V	g/h	0,53	1,9	-	-
Dioxin (I-TEQ)	µg/h	< 0,1	< 0,5	< 0,9	-

(n,t) angiver tør gas ved normaltilstanden (0°C, 101,3 kPa)

(ref) angiver tør røggas ved normaltilstanden (0°C, 101,3 kPa) og 10 % ilt