



FRAMTIDAS INDUSTRINÆRINGER, DELRAPPORT 3

HYDROGEN OG KARBONFANGST

Rapporten er skrevet av utreder Isak Lekve, og inngår i De Facto-prosjektet Grønn Industriutvikling. Kildegrunnlaget er i hovedsak allerede eksisterende utredninger og rapporter om temaet, i tillegg til intervjuer med nøkkelpersoner.

Rapporten er finansiert av Manifest Tankesmie og publiseres i rapportserien Grønn Industri 21. Rapporten skal etablere kunnskap og skape diskusjon. Manifest Tankesmie går ikke god for meninger som fremmes, rapporten står for forfatterens og De Factos regning.

Denne rapporten søker å kartlegge hvordan CCS kan danne utgangspunkt for sterke fremtidsnæringer i Norge. Vi har valgt å behandle potensialet for fremtidsnæring basert på hydrogen sammen med CCS, fordi produksjon av såkalt «blått hydrogen» fra naturgass er avhengig av CCS for å være utslippsfritt.

1. INNLEDNING OG OPPSUMMERING

Skal vi nå målet om å ikke overstige 1,5 graders oppvarming, må industrien og energisystemene være karbonnøytrale innen 2050. Det er vanlig å se for seg at dette skal skje enten gjennom storstilt utbygging av fornybar energi som erstatter eksisterende bruk av kull, olje og gass, eller gjennom effektivisering og reduksjon i energibruken, som gjør at bruken av fossile energikilder overflødiggjøres, eller en kombinasjon av de to.

Karbonfangst og -lagring (CCS – etter Carbon Capture and Storage) er en prosess som fanger og lagrer CO₂ i stedet for å slippe dem ut i atmosfæren, og slik gir oss anledning til å fortsette å bruke fossile energikilder. Viktige premissleverandører som Det Internasjonale Energibyrået (IEA) og FNs klimapanel (IPCC) peker nå på at CCS må spille en viktig rolle i omleggingen av verdens energisystemer, fordi det er vanskelig å se for seg at det vil være mulig å fase ut bruk av fossile energikilder på det nivået som kreves for å nå målene i Paris-avtalen. ^[1] Verdens energibehov er forventet å øke i tråd med fortsatt utvikling i det globale sør, og de fleste former for fornybar energi er fremdeles dyre og krever store investeringer. Dessuten er heller ikke fornybar energi alltid ukontroversielt, slik konflikten mellom vindkraft og naturvern tydelig illustrerer.

I tillegg bidrar produksjon av en rekke industriprodukter til store utslipp, rett og slett basert på at fremstillingen gjerne handler om å kjemisk skille ut klimagasser fra det ferdige produktet. Sement er et godt eksempel på et produkt som fremstilles slik, og som vi også kommer til å ha behov for i fremtiden. Også her kan CCS spille en sentral rolle ettersom rundt 5 % av menneskeskapt CO₂-utslipp kommer fra sementindustrien. CO₂ som fanges gjennom karbonfangst kan også anvendes som råstoff til slikt som bygningsmaterialer, plast, alger, metanol og i drivstoff, og vi snakker da om CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage). Også dette har potensial for å skaffe nye arbeidsplasser.

Denne rapporten søker å kartlegge hvordan CCS kan danne utgangspunkt for sterke fremtidsnæringer i Norge. Vi har valgt å behandle potensialet for fremtidsnæring basert på hydrogen sammen med CCS, fordi produksjon av

såkalt «blått hydrogen» fra naturgass er avhengig av CCS for å være utslippsfritt.

En kortfattet oversikt over resultatene kan oppsummeres som følger.

Aktuelle selskaper

- EQUINOR (18 977 ansatte i Norge, 61 milliarder USD i omsetning, staten hovedeier med 67 % av aksjene.)
- NORTHERN LIGHTS PROJECT (Samarbeid mellom Gassnova, Equinor, Shell og Total med sikte på å etablere et fellesforetak for frakt og lagring av CO₂. 150 arbeider i dag med dette.)
- NORCEM/Heidelberg (336 ansatte i Norge, omsetning på 1,8 milliarder NOK. Verdens tredje største sementprodusent.)
- FORTUM OSLO VARME (198 ansatte, omsetning på 1,6 milliarder NOK. Oslo Kommune eier 50%.)
- YARA INTERNATIONAL ASA (1368 ansatte i konsernet, omsetning på 13 milliarder USD. Staten eier 36,21 %.)
- AKER SOLUTIONS (5937 ansatte i Norge, 25 milliarder NOK omsetning, del av Aker-konsernet, hovedeier Kjell Inge Røkke, staten har en mindre eierandel gjennom sitt 30 % eierskap i Aker Kværner Holding, som igjen eier 41 % av Aker Solutions.)
- FINNFIJORD AS (189 ansatte, 1 milliard NOK i omsetning).
- NORSK HYDRO (4845 ansatte, 151 milliarder NOK i omsetning. Staten eier 34,26 % av selskapet.)
- TIZIR TITANIUM & IRON AS (272 ansatte, 1,3 milliarder NOK i omsetning.)
- VEIDEKKE INDUSTRI (1227 ansatte, 4,9 milliarder NOK i omsetning.)
- NEL ASA (84 ansatte, 489 millioner NOK i omsetning.)
- HEXAGON COMPOSITE (142 ansatte, 1,5 milliarder NOK i omsetning.)

- BKK (Omlag 1500 ansatte i hele konsernet, 5 milliarder NOK i omsetning.)
- Wilh. WILHELMSEN (om lag 1200 ansatte i konsernet, 871 millioner USD i omsetning.)
- GLOMFJORD HYDROGEN (nyetablering.)

Relevante bransjeforeninger

- Norsk Industri (NHO)
- KonKraft (Samarbeidsarena for Norsk olje og gass, Norsk Industri, Norsk Rederiforbund, LO, Fellesforbundet og Industri Energi.)
- Norsk Hydrogenforum

Aktuelle produkter

- CO₂-lagring. Gjennom utvikling av lagringssystemer, kan en ta imot CO₂ fra aktører i Norge og andre naboland. Northern Lights er det fremste planlagte eksempelet på dette.
- CO₂-transport. Aktører må frakte CO₂ til enten bruks- eller lagringsplass. Northern Lights søker også å sørge for dette. Her er det også muligheter for norske rederier.
- Fangstteknologi. Ved installasjon av fangst i andre land, kan norske aktører installere sine teknologiske løsninger. Aker Solutions og Equinor er involvert i dette.
- Modulære karbonfangstsystemer. Kompakte fangstsystemer kan produseres og fraktes relativt enkelt til utslipper. Aker Solutions har utviklet «Just Catch» som er et slikt produkt. Første anlegg er solgt til avfallsforbrenning i Nederland.
- Offshore og Marine karbonfangstløsninger. Aker Solutions har utviklet slike løsninger for gassturbiner og motorer, FPSO-er og skip.
- CCUS (Carbon Capture Utilization Storage). En hel rekke produkter kan produseres av CO₂-en som fanges. For eksempel i kjemisk industri, ved

fremstilling av fiskefor, plast eller gjødsel. Her er det nesten bare fantasien som setter grenser.

- CO2-fri sement. Med stadig strengere krav til klimaavtrykket i ulike industriprodukter, kan produksjon av CO2-fri sement bli et konkurransefortrinn. Norcem søker å produsere dette om de får i gang fangstanlegg i Brevik.
- CO2-fri varme fra avfall. Vil kunne produseres hos Fortum Oslo Varme om en får i gang fangstprosjektet.
- Blått hydrogen. Hydrogen kan produseres gjennom en prosess som kalles reformering av naturgass. Om CO2-en en fjerner fra gassen blir fanget og lagret, kaller en dette for blått hydrogen. Naturgassprodusenter som Equinor er interessert i dette. Aker Solutions, Yara, det nystartede ZEG Power og flere andre aktører ser på dette.
- Grønt hydrogen. Dette utvinnes gjennom å tilføre energi til vann, slik at en splitter det til oksygen og hydrogen gjennom en prosess som kalles elektrolyse. Hydro, TiZir, NEL ASA og en rekke andre selskaper er på ulike måter involvert i dette.
- Elektrolyseapparater. Apparatene en bruker for å produsere hydrogen. NEL ASA produserer disse.
- Hydrogentanker. Tanker for å lagre hydrogen brukt som drivstoff i ulike kjøretøy. Hexagon Composite produserer disse.
- Hydrogenbaserte skip. Skip som bruker hydrogen som drivstoff. Wilhelmsen er en av flere maritime aktører som planlegger slike.
- Ammoniakk. Hydrogen brukes allerede som råstoff i ammoniakk, som igjen hovedsakelig brukes til å produsere gjødsel. Flere peker på at ammoniakk også kan spille en rolle som energibærer, ettersom det er mer håndterbart og enklere å frakte enn hydrogen.

Potensiell verdiskapning i Norge

Estimatene er usikre og kan kritiseres, men Sintef beregner verdiskapningen knyttet til hydrogen i 2050 på rundt 220 milliarder NOK, eller om lag det samme som norsk eksport av naturgass i dag. Markedet for teknologi knyttet

til CCS, antas å nå et nivå på 450 milliarder NOK i Europa i 2050. Norske aktører ligger godt an til å ta andeler i dette markedet.

Potensiell sysselsetting i Norge

Også her er estimatene usikre og gjenstand for kritikk, men Sintef estimerer optimistisk at en satsing på CCS i Norge vil kunne bidra til å styrke konkurransekraften til mellom 160 000 og 200 000 arbeidsplasser om en teller både direkte og indirekte sysselsatte. I tillegg estimerer de at en kan etablere opp mot 70 000 nye arbeidsplasser i tilknytning til CCS, hvor produksjon av hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering kan stå for mellom 25 000 og 35 000 av disse.

Potensiell klimagevinst anno 2050

IPCC forutsetter i sin 1,5-gradersrapport, at en vil fange 8 milliarder tonn CO₂ årlig i 2050, noe som tilsvarer om lag 20% av dagens utslipp på 40 milliarder tonn. DNV GL, som estimerer fremtiden basert på nåværende løpebane, peker på at utviklingen til nå har gått mye saktere, og estimerer at CCS vil kunne fange bare 1,5 % av utslipp i 2050.

I Norge, bør det være mulig gjennom utvikling av det norske fullskala fangstprosjektet, samt innfasing av hydrogen, å kutte om lag 12 millioner tonn CO₂ gjennom en kombinasjon av CCS og hydrogen, eller rundt 23 % av totale norske utslipp.

Potensielle negative konsekvenser

I en del land har det vært stor motstand mot CCS basert på frykt for lekkasjer. Dette er ikke tilfellet i Norge. Videre har en del aktører pekt på CCS som et virkemiddel olje- og gassindustrien bruker for å få forlenge fossilbasert økonomi. Industrien peker på CCS som mulighet for videre norsk utvinning, men dette er bare relevant for foredling av gass, og ikke for forbrenning av olje som står for litt under halve den norske produksjonen. En viktig kritikk går på de høye kostnadene knyttet til CCS. At det globalt fremdeles bare er rundt 20 større anlegg, understreker at denne utfordringen bør tas seriøst, og at potensiell utbygging krever et sterkt politisk initiativ. Noen kritikere mener imidlertid at kostnadsnivået er såpass høyt, at ressursene uansett vil ha bedre effekt brukt andre steder. Men om en ønsker å kutte utslippene innen for eksempel sementproduksjon og avfallsforbrenning, finnes det foreløpig få alternativer til CCS.

Teknologisk stadium

Teknologien blir vekselvis beskrevet som moden og pre-kommersiell. Teknologien for å lage CCS-anlegg er utviklet, men må industrialiseres i stor skala for å drive ned enhetskostnadene til et konkurransedyktig nivå. Det antas at økte CO₂-kvotepriser- og avgifter vil bidra til kommersialisering av CCS.

Industrialisering

DNV GL anslår at vi kan få ganske betydelige prisreduksjoner ved masseproduksjon av CCS-anlegg. De forventer fremover en kostnadsreduksjon på 15-20 % ved hver kapasitetsdobling. Det betyr at om en kan få bygget 60 større anlegg, vil en kunne redusere kostnaden ved fangst med 30 %, mens en vil kunne få 50 % nedgang om en får en samlet utbygget fangstkapasitet på 500 millioner tonn CO₂.

Politikkbehov

Bransjen etterspør et statlig initiativ for satsing på CCS. Mest nærliggende er finansiering av det fullskala CCS-prosjektet som inkluderer Northern Lights, Norcem og Fortum. I parallell med dette bør man vurdere fangst fra øvrig avfallsforbrenning og prosessindustrien. Realisering av CO₂-lager er nøkkelen til CCS-markedet. Om en får en internasjonal enighet om høyere prising av CO₂, vil prosjekter som Northern Lights og andre fangst- og lagringsprosjekter kunne generere inntekter, og dermed bli kommersielt interessant med flere større utbygginger. Det er også behov for politikk for å få i gang hydrogenproduksjon, og politikk som bidrar til å skape et marked for hydrogen. Mest nærliggende i så måte er at markedet blir ferge og kollektiv-/tungtrafikk, eller tilrettelegging for mer bruk av hydrogen i industriell virksomhet knyttet til for eksempel stål- eller gjødselproduksjon. Det trengs også virkemidler for å fase ut bruk av «grå» hydrogen produsert med CO₂-utslipp, til fordel for hydrogen produsert uten CO₂-utslipp («blå» eller «grønn»).

Kapitalbehov

CCS er foreløpig for dyrt til å være kommersielt interessant, og det trengs derfor en kombinasjon av ulike statlige virkemidler som CO₂-avgift, og direkte subsidier i en begynnende fase, for å få i gang flere CO₂-anlegg. Private aktører vil mest sannsynlig ikke gå i bresjen med dagens prisnivå.

Forskning og utvikling

Det er vanskelig å anslå hvor store de offentlige satsingene bør være, men i første omgang bør en invitere aktuelle forsknings- og utviklingsmiljøer på et kartleggingsmøte for å avklare nærmere.

Tidsvindu

Skal vi klare å fange 8 milliarder tonn CO₂ årlig i 2050, slik klimapanelets rapport legger til grunn, må vi globalt bygge 22 fangstanlegg på 1 million tonn årlig CO₂ hver måned fra i dag og frem til 2050. Jo senere vi kommer i gang, jo høyere må intensiteten i utbyggingen åpenbart være.

2. NORSK CCS OG HYDROGEN PER I DAG

2.1 Kommersiell karbonfangst og -lagring i dag

Det finnes i dag om lag 20 større anlegg for karbonfangst i kommersiell drift globalt. De fleste av disse er tilknyttet oljeindustrien. I Nord-Amerika eksisterer det for eksempel to kraftverk som benytter seg av CCS for å produsere strøm nesten uten utslipp.

Petra Nova i Texas (240 MW) produserer strøm basert på kull, og fikk installert CCS fra 2017 som fanger mellom 1,4 og 1,6 millioner tonn CO₂ årlig. [2] Til utviklingen har de fått over 190 millioner USD fra det amerikanske energidepartementet, av en total kostnad på over 1 milliard USD. I tillegg brukes skattefradrag per fanget CO₂. Den fangede CO₂-en selges så til oljeselskaper, som bruker den til å øke utvinningsraten av olje på oljefeltene sine gjennom en prosess som kalles Enhanced Oil Recovery (EOR).

CO₂-injeksjon i modne oljefelt kan øke utvinningsgraden med 5–10 % og mesteparten av CO₂-en blir værende igjen i reservoaret. Det andre kommersielle kraftverket med CCS er Boundary Dam i Canada (150 MW) som bruker en lignende strategi. Dette ble subsidiert av kanadiske myndigheter med nærmere 20 % av byggekostnadene. Selv om begge disse kraftverkene er tungt subsidiert, har en altså lyktes med å etablere en verdikjede hvor CO₂ brukes som et produkt i annen industri. Dette blir også vurdert i Brage-feltet i Nordsjøen.

I Norge driver Equinor de to eneste kommersielle CCS-anleggene i forbindelse med Sleipner og Snøhvit-feltene. På Sleipner har en lagret 1 million tonn CO₂ per år siden 1996. [3] Det som gjør disse anleggene lønnsomme, er at de fjerner CO₂ fra gass som har for høy CO₂-andel til å kunne brukes, altså under produksjon, og som etter rensing kan selges. Selve gassen som kommer opp slipper imidlertid ut like mye CO₂ ved forbrenning som annen naturgass, og en kan argumentere for at disse anleggene dermed totalt sett gir mer utslipp av klimagasser enn om de ikke hadde vært der, ettersom de muliggjør forbrenning av gass som ellers ville vært ubrukelig.

Den 6. januar i år kunngjorde operatørene på norsk sokkel at de forplikter seg til å redusere CO₂-utslippet med 40 % innen 2030 og til å være karbonnøytrale innen 2050. Utslippene i forbindelse med olje- og gassvirksomheten på norsk sokkel er i hovedsak knyttet til gassturbiner som leverer nødvendig elektrisitet og varme til installasjonene. Aker Solutions har utviklet kompakte fangstløsninger for disse turbinene og CO₂ kan injiseres via vanninjeksjon eller egen brønn for permanent lagring. Løsningen er interessant i land der strøm fra land er fossilbasert eller der strøm fra land er svært krevende. Aker Solutions har også foreslått å fange 700 000 tonn CO₂ årlig fra avfallsforbrenning i de store norske byene med standardiserte og kompakte anlegg. ^[4]

Den rødgrønne regjeringens «månelanding» på Mongstad innebar at en skulle fange CO₂ også ved brenning av gassen, og det ble derfor kalt et fullskala CCS-prosjekt. Dette ble som kjent kansellert i 2013, men Technology Centre Mongstad som ble initiert samtidig lever videre. Aminteknologien som er utviklet her regnes i dag som verdensledende. Dette senteret, sammen med de to aktive CCS-anleggene ved Sleipner og Snøhvit – faktisk de to eneste i hele Europa – bidrar til å gi Norge et godt utgangspunkt for å ta ledertrøyen internasjonalt.

2.2 Det planlagte fullskalaprojektet for karbonfangst og -lagring

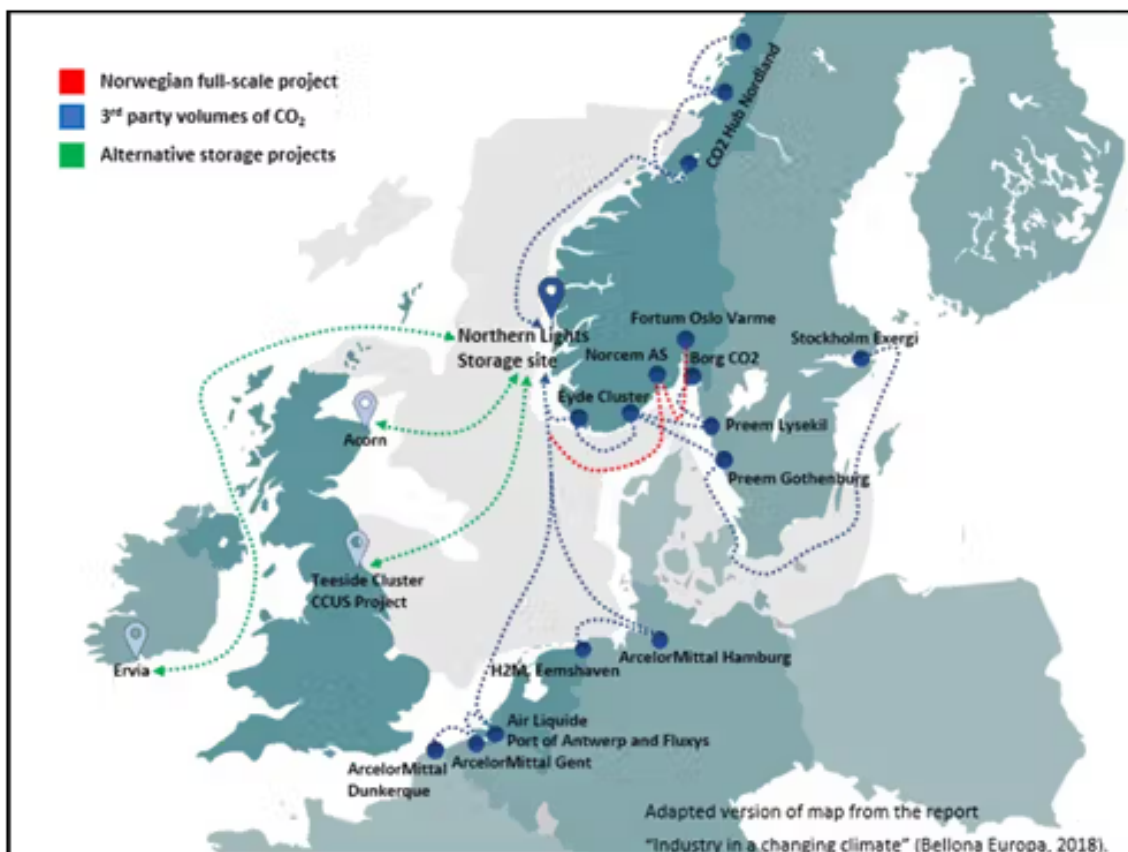
Equinor, Shell og Total har gått sammen om et prosjekt de kaller for Northern Lights som går ut på å utvikle den nødvendige infrastrukturen for å transportere og lagre CO₂. Transporten skal skje som flytende CO₂: Først med båt til et landbasert anlegg på Kollsnes i Øygarden. Derfra transporteres det i rør ut i Nordsjøen, hvor det så lagres permanent 2500 meter under havbunnen. Som nevnt ovenfor, er slik infrastruktur nødvendig om en skal lykkes med CCS, og helst bør en ha en slik stor aktør som kan tilby å ta hånd om CO₂-en som fanges også av andre aktører for en kompensasjon. På den måten kan Northern Lights bli et kommersielt prosjekt ved at en selger lagringsplass for CO₂.

Plasseringen i Nordsjøen betyr at anlegget potensielt kan ta imot CO₂ fra andre nærliggende land. Equinor har på vegne av Northern Lights allerede inngått en rekke intensjonsavtaler med selskaper i flere europeiske land, om å utvikle verdikjeder innen karbonfangst og -lagring. ^[5] Prosjektet sikter mot å lagre 1,5 millioner tonn CO₂ årlig, og dette vil kunne økes til 5 millioner tonn årlig senere. Til sammenligning ble 35 millioner tonn CO₂ lagret globalt i 2019,

[6] mens norske utslipp av klimagasser var på 52 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2018. [7]

Northern Lights blir planlagt i sammenheng med to andre viktige prosjekter. Det ene er knyttet til Norcems anlegg i Brevik hvor det produseres sement av kalkstein ved å skille ut CO₂, og en ønsker nå et anlegg som kan lagre denne. I dag slipper fabrikkene ut nesten 800 000 tonn CO₂ årlig, og prosjektet er ment å fange om lag halvparten av dette basert på restvarme i anlegget. Det andre prosjektet er knyttet til Fortum Oslo Varmes forbrenningsanlegg på Klemetsrud i Oslo, hvor en brenner avfall som gjenvinnes til elektrisitet, fjernvarme og kjøling til bygninger i Oslo. Her slippes det ut ca. 400 000 tonn CO₂ årlig, og prosjektet er ment å fange det aller meste av dette.

Kart over Northern Lights-prosjektet.



Kilde: Northern Lights/Equinor.

Til sammen vil anleggene på Brevik og Klemetsrud og Northern Lights være unike i internasjonal sammenheng. Det planlegges en fullstendig verdikjede med fangst, transport og lagring av CO₂, som kan danne utgangspunkt for en infrastruktur for karbonfangst og -lagring, som kan utløse også andre prosjekter. Et eksempel på et slikt prosjekt, er knyttet til Preem sitt raffineri i Lysekil nord for Gøteborg, der Aker Solutions er involvert. Der skal en vurdere

et fangstanlegg på inntil 500 000 tonn CO₂ per år for videre transport til Northern Lights.

I forbindelse med koronakrisen våren 2020, vedtok Stortinget 31. mars den tredje krisepakken, hvor de ba om at regjeringen må fremskynde en investeringsbeslutning om karbonfangst og -lagring til høsten 2020. Mange forventer at en slik investeringsbeslutning vil bidra til å sette i gang investeringer i denne kjeden. Det er imidlertid et åpent spørsmål hvorvidt Stortinget går inn for fangst i både Brevik og på Klemetsrud. Estimert kostnad ved bygging og drift i fem år av både Northern Lights og de to fangstanleggene, er 17 milliarder, mens det med bare et anlegg er estimert til 11 milliarder.^[8] Det forventes at også avfallsforbrenningen i Bergen, Trondheim og Stavanger/Sandnes vil kobles på prosjektet etter hvert om det først kommer i gang.

2.3 Norske aktørers engasjement innen CCS/CCU i dag

Den norske olje- og gassindustrien har unik kompetanse til å gå i gang med CCS-prosjekter, basert på erfaringene fra de allerede eksisterende installasjonene på norsk sokkel, og på Mongstad. Noen av aktørene som i dag har ulike engasjementer knyttet til CCS er:

Gassnova er et helstatlig foretak etablert i 2005 for å koordinere utviklingen av CCS i Norge. Det er de som evaluerer planene for CCS på Brevik og Klemetsrud, og ser det i sammenheng med mulighetene for transport og lagring. Basert på dette gir de råd til regjeringen om videre fremdrift. De er en viktig aktør innen forskning og utvikling, og eier 77,5 % av Teknologisenter Mongstad som de driver sammen med Equinor, og er også ansvarlig for forskningsprogrammet CLIMIT.

Equinor spiller en nøkkelrolle i utviklingen på flere måter. De driver CCS-anlegg på Sleipner og Snøhvit, og har et engasjement på gassfeltet Salah i Algerie. Equinor er involvert i Teknologisenter Mongstad gjennom en eierandel på 7,5 % og som operatør.

Equinor utvikler i tillegg **Northern Lights**-prosjektet sammen med Shell og Total, som skal etablere infrastruktur på norsk sokkel for transport av flytende CO₂ i rør til permanent lagring under havbunnen.

Norcem driver sementfabrikken i Brevik som er en av de to kandidatene som står igjen om en først bestemmer seg for fullskala CO₂-håndtering i Norge. Norcem er eid av det internasjonale HeidelbergCement Group som opererer i over 60 land. CO₂-fangst fra Brevik-anlegget vil kunne bli standard for sementproduksjon over hele verden.

Fortum Oslo Varme driver energigjenvinningsanlegget på Klemetsrud som er den andre kandidaten til å bli med i et slikt fullskala-prosjekt. Fortum Oslo Varme er eid 50 % av Oslo kommune og 50 % av Fortum.

Yara International ASA var lenge med i prosessen med fullskala CO₂-håndtering, og har vist stor interesse for CCS i forbindelse med ammoniakkproduksjonen i Porsgrunn. Staten eier 36,21 % av aksjene i Yara.

Aker Solutions har utviklet aminteknologi siden 2005. De har levert anlegget som er i bruk på Mongstad, som også har vært testet på Klemetsrud, Risavika, i Skottland, USA og i Brevik, og som etter planen skal brukes i fullskalaprojektet. Denne teknologien testes også hos det svenske selskapet Preem på deres HPU (Hydrogen Production Unit) på oljeraffineriet i nærheten av Göteborg. Selskapet har utviklet et standardisert og modulært karbonfangstprodukt under navnet «Just Catch», som er kompakt og muliggjør enkel transport og installasjon. Aker Solutions har kontrakt på installasjon av et komplett «Just Catch» fangst- og flytendegjøringsanlegg til energigjenvinningsselskapet Twence i Nederland. Her vil CO₂-en anvendes til å gi økt produksjon i drivhus, og altså ikke lagres.^[9] Aker Solutions er en del av Aker-konsernet hvor staten eier 30 % gjennom Aker Kværner Holding, som igjen eier 41 % av Aker Solutions.

Finnfjord AS som produserer hovedsakelig ferrosillisium, har drevet forsøk på å dyrke alger av sine CO₂-utslipp.

SINTEF/NTNU/NORCE/IFE er ledende internasjonale forskningsmiljøer med høy kompetanse og avanserte laboratorier.

2.4 Hydrogen i dag

Bare 0,002 % av verdens produserte hydrogen, om lag 1000 tonn per år, brukes som energibærer.^[10] Nesten all hydrogenbruk er i dag knyttet til industrielle prosesser. I Norge gjelder det produksjon av metanol ved Tjeldbergodden (av Equinor) og ammoniakk på Herøya (av Yara) som til sammen utgjør om lag 180 000 tonn av de totalt 225 000 tonn som årlig

produseres i Norge. ^[11] Disse produserer selv det hydrogenet de trenger basert på reformering av naturgass.

Hydrogen anses like fullt å ha et stort potensial som energibærer. En rapport fra Sintef sier for eksempel at «hydrogen utgjør potensielt Norges største bidrag til lavutslippssamfunnet i en internasjonal kontekst.» ^[12] Dette kan realiseres både som drivstoff i transportsektoren, som brensel for oppvarming av bygninger eller i varmeintensiv industri.

2.5 Planlagte verdikjeder for hydrogen

På Mongstad planlegger kraftselskapet BKK sammen med Equinor, franske Air Liquide og rederiet Wilhelmsen en fabrikk for å produsere flytende hydrogen til bruk som energibærer til det maritime markedet, til en kostnad på over 1 milliard NOK. Det blir i så fall den første av sitt slag i Norge. Denne fabrikken vil produsere hydrogen gjennom strøm fra BKK som elektrolyse – til grønt hydrogen – men vil likevel kunne bidra til å etablere infrastruktur og verdikjeder som en senere kan ta i bruk for blått hydrogen.

Det etableres allerede verdikjeder i tilknytning til fabrikken. Rederiet Wilhelmsen sin rolle er nettopp å etablere markedet for hydrogenet, ved å bestille to skip, til en kostnad på om lag 700 millioner, som skal bruke hydrogen som energibærer. Disse skal gå i fast rute mellom Bergen og Stavanger. Også Norled og Viking Ocean Cruises har planer om å bruke hydrogen på sine skip. Etableringen av et marked for hydrogen som drivstoff for skip vil potensielt skape et marked også for reformering av naturgass til hydrogen gjennom CCS.

I tillegg snakker en om å bruke hydrogen som et slags batteri, til å lagre energi produsert gjennom ustabile fornybare kilder som sol og vind. Dette gjøres ved at en for eksempel bruker overskuddsenergien ved mye sol eller vind til å produsere hydrogen, som en så brenner ved lite sol eller vind. Varanger Kraft samarbeider med Sintef for å realisere dette ved vindparken på Raggovidda i Finnmark. Brukt som energibærer har hydrogen fordelen at en ikke er avhengig av batterier, og den stadig mer kontroversielle gruvedriften knyttet til disse. Samtidig kan det lagres og fraktes, og bidrar ikke til utslipp av klimagasser ved forbrenning.

Når hydrogen brukes i industrielle prosesser, blir det utvunnet og brukt på stedet. Om det skal brukes som energibærer, kan en frakte det som et annet produkt, eksempelvis naturgass. En kan slik frakte naturgassen til kraftverk

hvor den omdannes til hydrogen med karbonfangst. Dette planlegger Equinor og Vattenfall gjennom konsortiet H2M som søker å omdanne en av enhetene ved det nederlandske gasskraftverket Magnum til hydrogenbasert.

Alternativt må en etablere en egen infrastruktur for transport av hydrogen. Equinor samarbeider med de britiske selskapene Cadent og Northern Gas Network på et prosjekt i Storbritannia under navnet H21 North of England. Dette undersøker muligheten til å transformere Nord-Englands infrastruktur for oppvarming av hjem basert på gass, til en infrastruktur basert på hydrogen.

Om det blir etablert slike hydrogenbaserte verdikjeder i andre land, kan det bety at en enten kan ta naturgassen i land i Norge og reformere den til hydrogen der, samtidig som en lagrer karbonet, og slik selger et foredlet produkt, eller at en fortsetter å selge naturgass direkte, og lar den reformeres nær bruk. I både H21 og H2M er det dette som er planlagt.

Uansett vil utviklingen av et marked for hydrogen være meget gunstig i et norsk industrielt perspektiv, ettersom det betyr nye muligheter for produksjon- og bruk av naturgass.

2.6 Norske aktørers engasjement innen hydrogen i dag

Dette er noen av aktørene som i dag har ulike engasjementer knyttet til hydrogen:

Equinor spiller også her en nøkkelrolle. Equinor produserer metanol av hydrogen på Tjeldbergodden gjennom reformering av naturgass, og er involvert i H2M for å omdanne et nederlandsk gasskraftverk til hydrogenbasert, og i H21 for å undersøke mulighetene for oppvarming av britiske hjem basert på hydrogen i stedet for gass. CO₂-en som produseres av reformeringen, vil Equinor for eksempel sende tilbake til Nordsjøen, ved hjelp av infrastruktur som ligner på Northern Lights. Equinor har som storprodusent av gass direkte interesse av at hydrogen blir en ettertraktet handelsvare, ettersom det kan hjelpe dem å produsere og selge gass lengre. Equinor er også involvert i prosjektet om en mulig hydrogenfabrikk på Mongstad.

Yara International ASA produserer ammoniakk av hydrogen på Herøya gjennom reformering av naturgass. Staten eier 36,21 % av aksjene i Yara.

Aker Solutions tester CO₂-fangst fra hydrogenproduksjon hos Preem i Lysekil nord for Göteborg. Aker Solutions vurderer også nye prosesser for produksjon av blå hydrogen.

Hydro har undersøkt muligheten for å bruke hydrogen som brensel i anodefabrikken og støperiet i Årdal. Staten eier 34,26 % av selskapet.

TiZir Titanium & Iron AS vurderer bruk av hydrogen i stedet for kull i deres smelteverk for titandioksid i Tyssedal.

Veidekke Industri undersøker muligheten for bruk av hydrogen i asfaltproduksjon gjennom et prosjekt støttet av Møre og Romsdal Fylkeskommune.

NEL ASA produserer elektrolyseapparater for å lage hydrogen av vann og tankesystemer.

Hexagon Composite produserer hydrogentanker til kjøretøy som busser, biler, tog og i maritim sektor.

BKK er et hovedsakelig kommunalt og delvis statlig eid kraftselskap fra Bergen, som er involvert i utviklingen av en hydrogenfabrikk på Mongstad.

Wilhelmsen er en global aktør innen maritim industri med hovedkontor i Oslo. De planlegger to hydrogenbaserte skip i tilknytning til hydrogenfabrikken på Mongstad.

Glomfjord Hydrogen Glomfjord var i årene 1949-1993 verdens største produsert av hydrogen gjennom elektrolyse, og det nye selskapet Glomfjord Hydrogen signerte i mai 2020 en intensjonsavtale med franske Air Liquide. Det er en samarbeidsavtale med ambisjon om å utvikle en verdikjede for produksjon av hydrogen i forbindelse med fergene som skal i drift i Vestfjordensambandet i Nordland fra 2024. ^[13]

ZEG Power ble startet i 2008 for å produsere utslippsfri hydrogen fra naturgass ved bruk av patentert ZEG-teknologi med integrert karbonfangst.

ZEEDS (Zero Emission Distribution at Sea) er et samarbeid mellom Equinor, Kværner, Aker Solutions, Grieg Star, DFDS og Wärtsilä om å utvikle løsninger for å forsyne skip med rent drivstoff, hvor hydrogen er et av flere slike.

3. POTENSIALET VED EN NORSKBASERT INDUSTRIALISERING INNEN CCS OG HYDROGEN

3.1 Verdiskapning og sysselsetting

Vedtaket på Stortinget 31. mars, i forbindelse med koronakrisen våren 2020, sier at regjeringen skal fremskynde en investeringsbeslutning om karbonfangst og -lagring til høsten 2020, i tråd med tidligere uoppfylte formuleringer i Sundvollen-plattformen. Om dette fører til at prosjektet med fullskala karbonfangst og -lagring kommer i gang, med fangst i Brevik og Klemetsrud, og så frakt og lagring under Nordsjøen som forespeilet i Northern Lights, vil det gi om lag 3000 til 4000 arbeidsplasser i fire år i anleggsfasen, og deretter omkring 80 nye arbeidsplasser i driftsfasen. Da er ikke de som skal arbeide med transport av CO₂ medregnet. Dette er det potensielt første av flere lignende prosjekter, godt prosjektert, og ser i all hovedsak ut til å bli betalt av myndighetene.

Skal vi gjøre anslag om fremtidig verdiskapning i Norge ved en vellykket industrialisering av et produkt, er det vanligvis to tall som er særlig viktige. Det ene er størrelsen på *det totale markedet*, det andre er norske selskapers *andel* av dette. Ved CCS forholder dette seg annerledes, ettersom CCS typisk er en fordyrende prosess, som i rene økonomiske termer bidrar til negativ verdiskapning. Likevel kan CCS bidra til økt konkurransekraft for norske arbeidsplasser. Om en antar at politiske virkemidler for å redusere CO₂-utslipp vil bli mer utbredt i tråd med økende vilje til å nå Paris-målene, kan det skape et marked for produkter produsert uten utslipp. CCS vil dermed kunne bidra til å *bevare* allerede eksisterende arbeidsplasser. Imidlertid kan det selvsagt også *skapes* arbeidsplasser, særlig om en klarer å etablere lønnsomme verdikjeder som for eksempel i tilknytning til hydrogen.

Sintef estimerer at en satsing på CCS i Norge, vil kunne bidra til å *styrke* konkurransekraften til mellom 80 000 og 90 000 eksisterende arbeidsplasser innen prosessindustri, naturgassvirksomhet og sjøfart. Om en teller med indirekte arbeidsplasser knyttet til disse næringene, estimerer Sintef at en kan styrke konkurransekraften til mellom 160 000 og 200 000 arbeidsplasser. At en styrker konkurransekraften, skyldes at mange aktører vil søke å fase ut produkter som bidrar til utslipp, da vil det kunne være en konkurransemessig fordel å tilby et produkt som er produsert med CCS og betydelig lavere utslipp.

I tillegg estimerer Sintef at en potensiell satsing vil kunne skape mellom 30 000 og 40 000 nye arbeidsplasser knyttet til selve fangst- og lagringsindustrien (fra 6000 til 20 000) og produksjon av hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering (25 000 til 35 000). Om en tar med indirekte sysselsatte, estimerer de at CCS-baserte næringer vil kunne gi opp mot 70 000 arbeidsplasser i 2050. ^[14]

Svært mange av disse potensielt nye arbeidsplassene vil altså kunne komme i tilknytning til hydrogenproduksjon fra naturgass. Sintef estimerer at et europeisk hydrogenmarked vil kunne nå 1 200 milliarder NOK i 2050. Om Norge produserer like mye naturgass som i dag, men omdanner 80 % til hydrogen for salg til dette europeiske markedet, vil det kunne utgjøre en markedsverdi opp mot 220 milliarder NOK. Dette er omtrent like mye som eksportverdien av all norsk naturgass i 2017.

Markedet for teknologi knyttet til CCS, antas å nå et nivå på 450 milliarder NOK i Europa i 2050. Norske aktører ligger godt an til å ta andeler i dette markedet.

Det bør understrekes at disse anslagene fra Sintef også har blitt kraftig kritisert for å være for optimistiske, blant annet fordi de antar et marked for CCS knyttet til energisektoren, noe som blant annet Mongstad-prosjektet har vist at er vanskelig å få konkurransedyktig mot energi basert på fornybare kilder, i tillegg til at det er stor usikkerhet rundt estimatene og den mulige lønnsomheten til et marked for hydrogen. ^[15]

3.2 Klimagevinster

Potensialet for kutt i klimagassutslipp gjennom CCS er store. IPCC forutsetter i sin 1,5-gradersrapport, at en vil fange 8 milliarder tonn CO₂ årlig i 2050, noe som tilsvarer om lag 20% av dagens utslipp på 40 milliarder tonn. DNV GL,

som estimerer fremtiden basert på nåværende løpebane, peker på at utviklingen til nå har gått mye saktere, og estimerer at CCS vil kunne fange bare 1,5 % av utslippene i 2050. [16]

De årlige norske utslippene er på 52 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. [17] Av disse slipper norsk prosessindustri i dag ut om lag 11 millioner, eller altså om lag 20 % av totale norske utslipp. Prosessindustrien har en målsetning om nullutslipp i 2050, samtidig som en dobler produksjonen. [18] Da er 60 % av utslippene beregnet til å kuttes gjennom CCS.

Avfallsforbrenning utgjorde i 2017 i underkant av 2 % av de samlede utslippene i Norge, mens sementproduksjon også utgjør om lag 2 % av de nasjonale klimagassutslippene. Begge disse bransjene er involvert i det norske fullskalaprojektet som er beskrevet ovenfor, og det vil, om det lykkes, raskt kunne utvides til andre avfallsforbrenningsanlegg, og slik bidra til å kutte mesteparten av disse to %. Når det gjelder sementproduksjon, så dekker Norcem sitt anlegg allerede det meste av markedet, og anlegget her vil kunne kutte 800 000 av anslagsvis 1,1 millioner tonn utslipp basert på sementproduksjon i Norge.

Utslippene knyttet til hydrogenproduksjon basert på naturgass, utgjorde i underkant av 2 % av de nasjonale utslippene av klimagasser. Med CCS vil disse kunne elimineres nesten fullstendig, men flere aktører seg også på muligheten for å gå over fra dagens naturgassreforming uten CCS og til elektrolyse, en annen mulighet som også vil kutte klimagassutslipp.

Om lag en tredjedel av norske utslipp kommer fra transportsektoren, hvor nesten 3 millioner (nærmere 6 % av totale norske utslipp) kommer fra sjøfart og fiskebåter. Med innfasing av hydrogen, vil det være mulig å kutte dette.

På kort sikt, bør det være mulig gjennom utvikling av det norske fullskala fangstprosjektet, samt innfasing av hydrogen, å kutte om lag 12 millioner tonn CO₂ gjennom en kombinasjon av CCS og hydrogen, eller rundt 23 % av totale norske utslipp.

3.3 Potensielle negative konsekvenser

Det har i mange land vært motstand mot CCS basert på frykt for lekkasjer fra lagrene, og særlig at en ikke ønsker et CO₂-depot i nabolaget. I Norge har slik motstand hatt mindre betydning, ettersom en planlegger depoter i Nordsjøen langt fra folk. Equinor har tross alt demonstrert sikker CO₂-lagring i over 20

år på Sleipner og senere på Melkøya. Ettersom det som skal lagres ikke er CO₂ som gass, men flytende CO₂ under trykk i geologiske formasjoner som har holdt på naturgass i millioner av år, er det lite trolig at det vil bli lekkasjer fra lagrene. Samtidig er lekkasjer fra rørledninger som kan sprekke og lekke ut konsentrert CO₂ en risiko.

Når det kommer til hydrogen, er det en energirik gass som kan antennes og eksplodere. Det er forståelig at folk ikke ønsker mulige lekkasjer og eksplosjoner i eget nabolag, men de fleste regner nå med at hydrogen kan anvendes på en sikker måte.

Videre peker mange på at CCS kan ha et skjær av såkalt «grønnvasking» over seg – ettersom det muliggjør fortsatt stor produksjon av fossil energi. En negativ konsekvens av karbonfangst og -lagring, kan være at vi fortsetter både å bruke mye energi generelt og fossil energi spesielt, i stedet for en overgang til lavere energibruk og mer fornybar. Det er for så vidt riktig: jo bedre vi lykkes med å fange karbonet, jo mer legitimt vil det være å fortsette å produsere olje og gass. En ser at de to kraftverkene i Nord-Amerika som driver kommersielt med karbonfangst, selger det fangede karbonet til aktører som bruker det til å produsere mer olje. Skal en iverksette karbonfangst og -lagring, bør det skje på en måte som gjør det åpenbart at klimagassutslippene faktisk går ned. En del industrielle utslipp kan imidlertid ikke reduseres på annen måte enn gjennom CCS, som for eksempel ved energiproduksjon ved avfallsforbrenning eller sementproduksjon så i forhold til slike, vil CCS være en god klimaløsning.

Den viktigste innvendingen er likevel knyttet til kostnadene. Både karbonfangst og -lagring og reformering av naturgass til hydrogen, er fordyrende prosesser som i tillegg bruker mer energi. Derfor må en selvsagt analysere hvorvidt ressursene kan bidra til å kutte flere utslipp om de blir brukt annerledes. Videre er det heller ikke irrelevant hvor regningen havner. Å sende den til forbrukerne kan ha konsekvenser for sosial ulikhet, å sende den til produsentene kan skape uheldige konkurransesituasjoner og i verste fall risikere arbeidsplasser. Dette er tema i følgende kapittel.

4. UTFORDRINGER OG MULIGE LØSNINGER FOR KOMMERSIALISERING

4.1 Fem veier til kommersialisering av CCS

Utfordringen ved å implementere CCS i allerede eksisterende energi- eller industriprosesser, er altså at det vil fordyre prosessen. Et kjernesporsmål for implementering av CCS er dermed hvordan en kan legge til rette for at det likevel blir rasjonelt å gjennomføre, og hvordan en skal fordele kostnadene. Grovt sett kan vi presentere fem veier til kommersialisering av CCS.

Kvotemarkedet og CO₂-avgift

Norge er i dag tilknyttet EUs kvotesystem (ETS). Den første og i prinsippet enkleste veien til kommersialisering av CCS, går via økt pris på CO₂-kvoter. CO₂-avgiften kan fungere i samspill med kvotene. Slik kan en tenke seg en prosess hvor prisen på utslipp øker gradvis, samtidig som teknologisk utvikling og statlige investeringer i infrastruktur til fangst, transport og lagring, gjør at prisen synker tilstrekkelig til at CCS vil bli et mer økonomisk lønnsomt alternativ enn utslipp og kvotekjøp. En slik utvikling vil ha den fordel at den vil virke generelt i markedet, være lite byråkratisk, og insentivere alle aktører i kvotepliktig sektor ^[19] med større utslipp til å vurdere og potensielt implementere CCS.

Gjennomsnittlig kvotepris for 2019, var på 24,87 EUR per tonn med CO₂-utslipp. Til sammenligning beregner Sintef en total kostnad for fangst, transport og lagring til 851 NOK per tonn, eller altså godt over tre ganger høyere med dagens vekslingskurs. ^[20] I tråd med dette, finner Carbon Capture and Storage Association at kostnadene for karbonfangst ligger på mellom 600-900 NOK pr. tonn CO₂. Da er ikke transport og injeksjon regnet med. En analyse fra WindEurope peker på at CCS vil være økonomisk rasjonelt ved en kvotepris på 90 USD per tonn CO₂. ^[21] Den norske CO₂-avgiften for naturgass er til sammenligning på 491 NOK per tonn CO₂. ^[22] I Nederland er det foreslått

en særegen CO₂-avgift for industrien, og slike tiltak vil kunne få betydning ved større utbredelse.

DNV GL anslår at vi kan få ganske betydelige prisreduksjoner ved masseproduksjon av CCS-anlegg. De forventer fremover en kostnadsreduksjon på 15-20 % ved hver kapasitetsdobling. ^[23] Det betyr at om en kan få bygget 60 større anlegg, vil en kunne redusere kostnaden ved fangst med 30 %, ^[24] mens en vil kunne få 50 % nedgang om en får en samlet utbygget fangstkapasitet på 500 millioner tonn CO₂. ^[25] Det norske fullskala CCS-prosjektet som er beskrevet nedenfor, vil til sammenligning få en fangstkapasitet på ca. 800 000 tonn CO₂ om både Norcem og Fortum får finansiering, og i så fall koste 17 milliarder NOK.

Dette illustrerer at det implementering av CCS mangler, er større prøveprosjekter slik at en kan få drevet ned kostnadene. Samtidig illustrerer det også at den størrelsesordenen det her er snakk om er stor, og at det vil bli kostbart. De fleste anslag tilsier derfor at kvoteprisen vil forbli for lav og kostnadene for høye til å gjøre CCS bedriftsøkonomisk rasjonelt alene. ^[26]

Elektrisitetsproduksjon

En andre mulig vei, er å ta utgangspunkt i den naturgassen Norge allerede produserer og eksporterer, og foredle den til elektrisitet i norske gasskraftverk. Da får en et produkt en kan selge – elektrisitet – som slik kan avta en del av kostnadene knyttet til implementering av CCS. Dette var tanken bak «månelandingen» på Mongstad, som ble kansellert i 2013. Fornybar energi som vindkraft og solenergi, er allerede i ferd med å bli konkurransedyktig med energi basert på fossil energi, og vil utkonkurrere fossil energi med CCS. Dette regnes derfor i dag som en lite egnet vei. At både månelandingen ble kansellert, og at selve gasskraftverket på Mongstad nå er i ferd med å legges ned, peker i samme retning.

Lavkarbonprodukter

En tredje, og mer sektorspesifikk vei, går ut på at en benytter CCS til å produsere ulike lavkarbonalternativer av industriprodukter som uansett gir fra seg klimagasser under produksjon. I dag står industri for nesten 25 % av verdens utslipp, og for flere av disse produktene er CCS eneste praktiske løsning for å kutte utslippene. Sement står for eksempel alene for 8 % av de globale utslippene, og lavkarbon-sement fremstår som eneste løsningen for å kutte disse utslippene. Et slikt lavkarbon-sement, vil bli dyrere enn vanlig sement, og vil dermed sannsynligvis være avhengig av ulike politiske

virkemidler for å være konkurransedyktig. Mulige løsninger er for eksempel krav om en viss andel lavkarbonsement i offentlige byggeprosjekter, eller økte avgifter på de produktene som produseres uten CCS.

Utrekninger hvor en sender regningen til kundene, viser at selv om for eksempel utslippsfri sement får en betydelig høyere kostnad enn konvensjonell sement, så vil de overordnede prosjektkostnadene i sementbaserte prosjekter, ikke øke med mer enn 1 til 3 %. ^[27] Samme regnestykke er gjort for utslippsfri stål i biler. I et slikt perspektiv virker kostnaden overkommelig.

En variant av denne veien kan vi kalle lavkarbonavfallsforbrenning, hvor en brenner avfall for å produsere fjernvarme, elektrisitet og kjøling. Ved forbrenning av husholdningsavfall med karbonfangst, beregnes en økning på så lite som 3 % i gebyret for den enkelte husholdning. ^[28]

Det er langs denne veien det planlagte fullskala CCS-prosjektet i Norge ser ut til å gå, gjennom implementering på Norcem sitt anlegg i Brevik. Om det blir gjennomført, og en suksess, vil en kunne bruke samme fremgangsmåte for å kutte utslipp også i andre industriprodukter som jern, stål, titan, silisium og mer.

Disse tre første veiene, vil kunne bidra til verdiskapning og arbeidsplasser i tilknytning til teknologiutvikling, og transport og lagring av CO₂, men potensialet er likevel begrenset av at CO₂-en skal lagres og slik ikke danner utgangspunkt for en større verdikjede. Skal det kunne etableres ikke-subsidierte grønne industriarbeidsplasser i forbindelse med CCS, vil det være en fordel om den ekstra om lag 25 % energien som brukes for å lagre CO₂, også kan tilføre en form for verdiskapning.

Karbonfangst, -bruk og -lagring (CCU/CCUS)

Større potensial for verdiskapning, er det dermed om en kan etablere en verdikjede hvor også klimagassene kan skape merverdi. Dette kalles CCUS eller bare CCU hvor u-en står for *utilization* eller bruk. Et eksempel på en slik bruk er når CO₂ benyttes til å øke utvinningsraten av olje gjennom EOR (enhanced oil recovery). Andre mulige eksempler er når CO₂ brukes som råvare i kjemisk industri, for eksempel ved fremstilling av fiskefôr, plast eller gjødsel. Her er det nesten bare fantasien som setter grenser, siden så å si alle produkter vi bruker i dag enten er laget av karbon eller bruker karbon i fremstillingen.

Bruk av CO₂ kan likevel bare bli et supplement til lagring, ettersom utslippene er altfor store til å benyttes i sin helhet. I tillegg er CO₂ vanligvis et «sluttprodukt» i ulike kjemiske prosesser, noe som betyr at det må tilføres energi for å fungere som råstoff for andre produkter, mens disse ofte kan produseres mer energieffektivt fra andre karbonforbindelser. Dessuten må denne tilførte energien være produsert uten eller nesten uten utslipp, for at dette faktisk skal være en grønn prosess. Det betyr at Norge med sin hovedsakelig utslippsfrie energiproduksjon er godt egnet. Sist, selv om CO₂-anvendelse i enkelte produkter som bygningsmaterialer og karbon nanofiber vil oppnå en tilnærmet permanent lagringseffekt, vil de fleste produkter produsert av CO₂ ikke fungere som en permanent binding av CO₂ på samme måte som ved lagring. Dette fordi CO₂-en forsvinner ut i atmosfæren igjen når produktene brytes ned.

Det er altså ofte bare snakk om en utsettelse av utslippet. Den viktigste funksjonen ved bruk av CO₂ som råvare i kjemisk industri, er ikke bindingen av CO₂ i seg selv, men at produktet kan selges, og slik dekke noe av kostnadene ved CCS. CCUS vil i tillegg kunne føre til en større utbredelse av fangstanlegg, og dermed bringe kostnadene for fangst ned, samtidig som etablering av nye arbeidsplasser i forbindelse med CCUS også kan virke positivt.

Hydrogen

En femte vei til kommersialisering av CCS, er gjennom utvinning av hydrogen fra naturgass. Hydrogen er en lett gass som i dag hovedsakelig brukes til industrielle anvendelser. Det meste av dette hydrogenet produseres i dag gjennom omdannelse av naturgass, til hydrogen og CO₂ der man til slutt fjerner CO₂ fra gassen. Når dette slippes ut, slik det gjøres i dag, kalles det «grå hydrogen» ettersom produksjonen bidrar til utslipp på om lag 8 tonn CO₂ per tonn hydrogen. Men hvis dette fanges og lagres, får vi det som kalles «blå hydrogen». Selve produktet er det samme, men er produsert uten klimagassutslipp. I tillegg snakker en om «grønt hydrogen» som produseres ved å spalte vann til hydrogen og oksygen gjennom å tilføre det energi i en prosess som kalles elektrolyse. Fremstillingen av «grønt hydrogen» er i dag vesentlig dyrere, men produserer ikke CO₂. Det har dermed ingen direkte sammenheng med CCS, men i utvikling av infrastruktur og marked, vil det være store synergieffekter.

Markedet for hydrogen er i dag modent for noen områder, men under utvikling som energibærer. Den største utfordringen for kommersialisering av hydrogen som energibærer, er likevel at en da må benytte det verdifulle

metanet i naturgass. På sikt kan en likevel tenke seg at om land overholder sine klimaforpliktelser, vil de søke å fase ut naturgass. Da vil prisen på dette synke, og reformering til hydrogen kan være nødvendig for å fortsette å produsere og selge naturgass.

I en norsk kontekst, er det særlig knyttet til ferger og andre tungtransportmidler, som ser ut til å drive etterspørselen etter hydrogen fremover. Her spiller myndighetene en viktig rolle gjennom handlingsplanen for grønn skipsfart fra sommeren 2019, og det varslede kravet om nullutslipp i forbindelse med offentlige innkjøp, som begge vil bidra til å fremme et marked for hydrogen som energibærer i Norge. En kan også tenke seg et utviklet marked for hydrogen til bruk i ulike industrielle prosesser, men også her må politiske virkemidler spille en sentral rolle. Analyser fra DNV GL viser at grå hydrogen vanligvis vil være billigere enn «grønt hydrogen», men at usikkerhet rundt kostnadene ved CCS-anlegg, foreløpig gjør «blå hydrogen» mer usikkert.^[29] Produksjon av «grønt hydrogen» vil imidlertid være avhengig av fornybar energi. Ettersom de fleste land har en betydelig andel fossilbasert energi, vil elektrolyse der være mindre aktuelt.

Eksport av «blå hydrogen» har stort potensial, men det er utfordringer særlig knyttet til distribusjon. Dette vil dog være avhengig av om europeiske land faser inn hydrogen for eksempel om en erstatning for naturgass. Det finnes allerede et godt utbygd distribusjonsnett for naturgass i Europa og man kan tenke seg at naturgassen omdannes til hydrogen ved sluttbruker. Da vil man redusere behovet for et omfattende og kostbart distribusjonssystem for hydrogen.

Alle de ulike veiene til kommersialisering av CCS, vil kreve at en aktør har anledning til å ta imot og lagre klimagassene. En slik aktør eksisterer ikke i Norge i dag. I tillegg er det ikke slik at disse veiene er gjensidig utelukkende, tvert imot er det trolig at flere av dem vil kunne følges samtidig, og at utviklingen av en vei vil gi synergieffekter for en annen, slik at flere blir farbare.

4.2 Behov for investeringer og etablering av nødvendig infrastruktur

Både næringsaktører og miljøorganisasjoner som er engasjert i karbonfangst og -lagring peker på behovet for at staten går foran for å etablere nødvendig infrastruktur. Det er basert på overstående gjennomgang særlig to former for infrastruktur som er nødvendig.

- Infrastruktur for å motta/frakte CO₂
- Infrastruktur for å lagre CO₂

Northern Lights-prosjektet vil skape en begynnende infrastruktur for frakt og lagring av CO₂, som også er mulig å skalere opp og – i tillegg til Oslo – kunne koble på bysentra som Gøteborg, Trondheim, Bergen, Stavanger og etter hvert byer i Skottland, Nederland, England med mer. Et slikt prosjekt er nødvendig for enhver videre utvikling av CCS på stor skala i Norge. En kan nok installere noen mindre anlegg, som Aker Solutions «Just Catch» (opptil 100 000 tonn CO₂ per år), uten en slik etablert permanent lagerløsning. De fleste kundene som har vurdert dette vurderer imidlertid permanent lagring som det eneste aktuelle alternativet. Dersom en ønsker å fange CO₂ i stort omfang, er den eneste realistiske løsningen større geologiske lagre og muligheter for mottak og transport. Etablering av lagre for CO₂ i Norge og Europa er en forutsetning for å lykkes med CCS. Det er derfor stor enighet om betydningen av at staten finansierer en slik løsning, og Multiconsult skriver for eksempel at de vurderer det som «svært viktig at Staten sikrer finansiering av mottak og lager for CO₂.»^[30] På sikt kan en også se for seg å sende CO₂ i rør til Kollsnes i stedet for med båt, men det vil også kreve ny infrastruktur.

I tillegg peker noen aktører på infrastruktur for distribusjon av hydrogen, men her spriker oppfatningene. Foreløpig ser det ut som om markedet for hydrogen som energibærer vil etableres gjennom utvikling av skipsfart basert på hydrogen, og i så fall vil hydrogenet kunne utvikles i forbindelse med havnene enten via elektrolyse eller reformering. Selv om eksport av hydrogen i stor grad vil være avhengig av politikk i andre land, vil en begynnende utvikling av et slikt hjemmemarked for hydrogen, bidra både til teknologisk utvikling og infrastruktur som senere kan benyttes til eksport.

Det er behov for politikk for å få i gang hydrogenproduksjon, og politikk som bidrar til å skape et marked for hydrogen. Mest nærliggende i så måte er at markedet blir ferger og kollektiv-/tungtrafikk, men en kan tenke seg målrettet innsats for å øke bruken innen ulike industrielle prosesser, og at det kan drive markedet for hydrogen fremover.

4.3 Behov for forskning og utvikling

Teknologien for å implementere CCS er moden, men blir likevel noen ganger betegnet som «pre-kommersiell» ettersom den er i bruk på relativt liten skala foreløpig. Gassnova er ansvarlig for forskningsprogrammet CLIMIT som er rettet inn mot forskning på CCS. Det er åpenbart at forskning og utvikling vil ha positive effekter, men det fremstår likevel først og fremst som om det er

industrialisering og skalaeffekter som vil kunne drive prisene betydelig nedover, slik regnestykkene fra DNV GL, referert ovenfor, illustrerer.

Det er vanskelig å anslå hvor store de offentlige satsingene bør være, men i første omgang bør en invitere aktuelle forsknings- og utviklingsmiljøer med på et kartleggingsmøte for å avklare dette nærmere.

4.4 Tidsvindu

Det fremstår ikke som om det er et kappløp internasjonalt hverken om å utvikle CCS eller hydrogen, grunnet fremdeles høyt kostnadsnivå ut fra et industrielt perspektiv. Hvis vi ser på det fra et klimaperspektiv stiller det ser annerledes. Klimapanelet (IPCC) er tydelig på at det er tvilsomt om en kan nå 2-gradersmålet uten CCS, og peker også på at å nå 2-gradersmålet uten CCS vil bli 138 % dyrere. Panelets rapport om vurdering av konsekvenser av og muligheter for å nå 1,5-gradersmålet, understreker dette enda kraftigere. ^[31] I denne rapporten vil 33 % ^[32] av verdens energimiks i 2050 være basert på fossile kilder, noe som vil gi årlige utslipp på 8 milliarder tonn CO₂. Skal vi klare å fange dette, slik klimapanelets rapport legger til grunn, og vi antar en injeksjonsrate på 1 million tonn CO₂ per brønn per år, må vi globalt bygge 22 fangstanlegg hver måned fra i dag og frem til 2050. Jo senere vi kommer i gang, jo høyere må intensiteten i utbyggingen åpenbart være. ^[33]

Norge har gjennom Paris-avtalen forpliktet seg til å forfølge målsetningene om å begrense temperaturøkningen til 2 grader, og helst 1,5. Det betyr at vi også har forpliktet oss til å følge de baner som skisseres opp i klimapanelets rapporter, hvor CCS altså spiller en sentral rolle. Vi kan ikke stå for 22 fangstanlegg hver måned i 30 år, men vi kan gjøre vår del. Vi kan starte snøballen slik at norske aktører også kan være involvert i utviklingen i andre land når de etter hvert kommer etter. Men skal vi lykkes har vi dårlig tid.

5. MOT EN NORSK INDUSTRIPOLITIKK FOR KARBONFANGST

5.1 Behov for tydelige politiske visjoner

Estimater presentert i kapittel 3, viser at det er et stort potensial både for å sikre eksisterende, og etablere nye, arbeidsplasser basert på ulike former for karbonfangst og -lagring. Særlig stort potensial har det om en klarer å etablere hydrogen som en etterspurt energibærer globalt, ettersom dette sikrer et marked for norsk naturgass. Norsk politikk kan spille en begrenset rolle i forhold til utviklingen internasjonalt, men kan likevel legge til rette for at norske miljøer er i front hvis utviklingen går slik som både IEA og IPCC mener er nødvendig. Første skritt da er å etablere en tydelig politisk visjon om fremtidens verdikjede basert på CCS og hydrogen.

Denne visjonen kan for eksempel se slik ut:

5.2 Mulig scenario for 2050

Norge skal fortsette å produsere store mengder naturgass. Noe av denne sendes til Storbritannia og i land på kontinentet, hvor den reformeres til hydrogen ved hjelp av CCS, og blant annet benyttes til å erstatte naturgass i infrastrukturen for oppvarming av hjem, i tråd med prosjektet H21.

En annen andel av naturgassen kommer i land på Kollsnes hvor et stort CCS-anlegg reformerer den til hydrogen til bruk nasjonalt i ferger, båter og andre transportmidler, og noe fraktes med skip eller rør til andre land for bruk som energikilde der. Infrastrukturen for å frakte hydrogen, og de fortsatte lave strømprisene grunnet massiv utbygging av flytende havvind, ^[34] gjør at også grønt hydrogen basert på elektrolyse kan eksporteres.

Kollsnes fungerer også som mottakspunkt for andre CCS-anlegg rundt kysten. CO₂-en som kapres ved reformering sendes tilbake til Nordsjøen, gjennom infrastruktur i samme bane som Northern Lights. Northern Lights-

aktige prosjekter har også forgreininger til andre land, og CO2 fra hele Nordsjøområdet samles her hvor det sendes tilbake for permanent lagring under havet.

Dette styrker norsk industri, som blir i stand til å produsere industriprodukter uten utslipp, og sikrer konkurransekraften til mellom 160 000 og 200 000 arbeidsplasser, samtidig som det etableres rundt 70 000 nye arbeidsplasser særlig i tilknytning til produksjon og behandling av hydrogen. Det gravlegger også debatten om sluttdato for olje- og gassproduksjonen, fordi vi i stedet finner et nytt bruksområde for naturgass. Lønnsomhetsmessig vil dette ikke kunne sammenlignes med dagens olje- og gassindustri, men likevel gi en betydelig eksport på om lag 200 milliarder NOK i året, eller altså omtrent like mye som eksportverdien av all norsk naturgass i 2017.

Noter og referanser

1. Se <https://www.ipcc.ch/sr15/>
2. Se <https://fas.org/sgp/crs/misc/R44902.pdf>
3. Se <https://www.norskipetroleum.no/en/environment-and-technology/carbon-capture-and-storage/>
4. Se <https://www.midtnorskdebatt.no/meninger/ordetfritt/2020/05/28/Aker-Solutions-Norge-kan-redusere-utslipp-%E2%80%93-med-Trondheim-i-front-21934887.ece>
5. Selskapene det gjelder er Air Liquide, Arcelor Mittal, Ervia, Fortum Oyj, HeidelbergCement AG, Preem, og Stockholm Exergi. Se <https://www.equinor.com/no/news/2019-09-cooperation-carbon-capture-storage.html>
6. Se <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>
7. Se <https://www.ssb.no/klimagassn>
8. Dette ble beregnet av Atkins og Oslo Economics i deres KS1 og KS2-rapporter. Se <https://ccsnorway.com/costs/>
9. Se <https://www.akersolutions.com/news/news-archive/2019/aker-solutions-signs-carbon-capture-contract-with-twence-in-the-netherlands/>
10. Se rapporten "Hydrogen as an Energy Carrier. An evaluation of emerging hydrogen value chains." Av DNV GL I 2018, side 4.
11. Se rapporten "Hydrogen i Norge" av DNV GL, 2019.
12. Se Sintef-rapporten «Energi og Industri» side 36, 2019.
13. Se <https://www.glomfjordhydrogen.no/ac/glomfjord-hydrogen/pressemelding>
14. Se Sintef-rapportene «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge» og «Energi og Industri. Mulighetsrom Verdikjeder», 2019.
15. Se <https://energiogklima.no/blogg/oppblaste-tall-i-ccs-rapport-fra-sintef/> eller <https://energiogklima.no/kommentar/karbonfangst-og-lagring-ccs-blir-neppe-noen-gullgruve/>
16. Se <https://eto.dnvgi.com/2019/index.html>
17. Tall for 2018.
18. Se https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/veikart-for-prosessindustrien_web.pdf

19. Transport, landbruk, oppvarming i bygg, avfall og bruk av fluorholdige gasser, er ikke inkludert i EUs kvotesystem, og betegnes derfor som ikke-kvotepiktig sektor.
20. Se <https://www.sintef.no/siste-nytt/dette-ma-du-vite-om-ccs-karbonfangst-og-lagring/>
21. Se rapporten «Breaking new ground» fra WindEurope, side 40-42, september 2018. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-breaking-new-ground.pdf>
22. Atkins Norge og Oslo Economics, som kvalitetssikret CCS-prosjektene til Norcem, Fortun og Yara brukte imidlertid betydelig høyere tall da de gjorde sine utregninger i 2016, og la seg på en håndteringspris på nærmere 1700 NOK.
23. Dette kommer de frem til gjennom å sammenligne med utviklingen i lignende industrier, som da en fjernet sulfurutslipp på 80- og 90-tallet.
24. Ettersom der i dag finnes om lag 20 anlegg, så vil en bygging av 60 nye anlegg føre til to doblinger (til 40, så til 80), som vil gi enhetskostnadsreduksjon på mellom (gitt 15% læringseffekt) $0,85 \cdot 0,85 = 0,72$ og (gitt 20% læringseffekt) $0,8 \cdot 0,8 = 0,64$. Altså mellom 28 og 36 % reduksjon i kostnader.
25. Se <https://www.dnvgl.com/feature/carbon-capture-storage-ccs.html>
26. Se feks Multiconsults rapport fra 2019 «Hvordan gjøre CO₂-fangst og lagring lønnsomt» eller Atkins Norge og Oslo Economics «Kvalitetssikring (KS1) av KVVU om demonstrasjon av fullskala fangst, transport og lagring av CO₂» for OED og Finansdepartementet i 2016.
27. Se for eksempel MultiConsult sin rapport «Hvordan gjøre CO₂-fangst og lagring lønnsomt», 2019, eller Zero (2019) «Nye forretningsmodeller for karbonfangst og -lagring», side 12.
28. Se MultiConsult «Hvordan gjøre CO₂-fangst og lagring lønnsomt», 2019. Zero sine beregninger ender på om lag 20 %, men vurderer ikke virkemidler for å fordele kostnadene.
29. Se DNV GLs rapport «Produksjon og bruk av hydrogen i Norge», 2019.
30. Se MultiConsult sin rapport «Hvordan gjøre CO₂-fangst og lagring lønnsomt» fra 2019 side 8.
31. Se <https://www.ipcc.ch/sr15/>
32. Dette er en medianverdi, eller det de anser som mest sannsynlig, men med en spredning mellom 8 og 61 %.
33. Kilde: Jonny Hesthammer, tidligere professor i geologi og geofysikk ved UiB.

34. Se første delrapport i denne serien.