

# Carpe carbo

Gustav Tällberg

## 1. Introduktion

Jorden är inne i en förändringsfas. Människan har orsakat en global uppvärmning på ca 1,0°C sedan förindustriell tid. Prognoser indikerar ytterligare uppvärmning till 1,5°C inom några decennier. Denna ökning i temperatur började visa sig i trendkurvor för antalet och intensiteten av olika extrema väderhändelser redan vid en temperaturökning om 0,5°C. Denna ökning har dessutom redan manifesterat sig i förändringar av olika ekosystem och samhällen runt om på Jorden. (IPCC. (2018))

Om denna temperaturökning fortsätter, är sannolikheten högre för mer extrema väder som exempelvis torka i redan torra områden, eller ökad nederbörd i tropiska områden. Detta riskerar att sätta ytterligare press på de människor och ekosystem som befinner sig i dessa områden. (IPCC. (2018))

Enligt IPCCs specialrapport om konsekvenserna av en genomsnittlig temperaturökning om 1,5°C mot förindustriell tid, behöver koldioxidutsläppen nå under netto noll för att förhindra och minska de negativa konsekvenser koldioxiden för med sig. Det är viktigt för att minska uppvärmningen, minska havsnivåhöjningen samt minska havens försurning. För att nå under netto noll krävs åtgärder för att aktivt samla in koldioxid från atmosfären. Några av dessa tekniker är CCS och CDR, vilka kan användas för att minska mängden koldioxid i atmosfären. (IPCC. (2018))

Syftet med denna essä är att ta upp några olika tekniker för insamling och lagring av koldioxid, hur de kan användas, vilka begränsningar de har och till vilken utsträckning de kan appliceras här i Sverige. Denna essä kommer att besvara vilka förutsättningar som finns för att införa CCS i Sverige både på nationell nivå, samt på lokal nivå.

## 2. CCS

### 2.1. Hur det funkar

CCS är *Carbon Capture and Storage*, vilket innebär infångning av koldioxid för att sedan förvara det i någon form av förvaringsplats. Detta innebär att den koldioxid som annars skulle komma ut i atmosfären som resultat av förbränning av exempelvis fossilt kol, istället samlas in och förvaras, ofta djupt under jordytan. (Everett, B. (2012))

För att CCS ska fungera effektivt krävs det att koldioxiden som ska samlas in finns i stor mängd. Detta innebär att denna teknik lämpar sig bäst på stora utsläppare, som kolkraftverk, stålindustrin eller betongindustrin. (Everett, B. (2012))

För att samla in koldioxiden måste den renas från övriga gaser. Detta kan ske på lite olika sätt, vilket beror på de förutsättningar som finns tillgängliga. Är koldioxiden ren, som den är vid utsläpp från betongindustrin, kan koldioxiden samlas in direkt. Vid kolkraftverk är dock koldioxiden aldrig separerad från övriga gaser. (Everett, B. (2012))

Metoden för att separera gaserna beror på vilka gaser som ingår, men för ett typiskt kolkraftverk separeras ofta svaveldioxiden bort från röken först genom att passera röken genom kalciumkarbonat. När röken passerar, fällt svavlet ut som kalciumsulfat. När svavlet är utsorterat, passerar ofta den återstående röken genom något form av koldioxidfilter som separerar ut koldioxiden från vattenånga samt diverse kväveföreningar. Detta kan bestå av etanolaminer, metanol, andra organiska lösningsmedel, membran eller absorberande pellets. Detta filter kan sedan behandlas på olika sätt för att få ut den rena gasen och för att kunna använda filtret igen. (Everett, B. (2012))

När koldioxiden är insamlad kommer den att behöva transporteras från produktionsanläggning till förvaringsanläggning. På land transporteras koldioxiden oftast genom vidsträckta rörsystem under högt tryck, medan transportererna till havs ofta sker med fartyg. (Everett, B. (2012))

Väl på plats finns ett antal olika lösningar. Koldioxiden kan antingen användas för utökad utvinning av olja och gas från djupa reservoarer eller slutförvaras genom att trycksätta gasen till flera hundra atmosfärers tryck nere i djupa saltvattensakvifärer. En alternativ lösning är att binda kolen i olika karbonater genom att binda koldioxiden till kalcium, järn eller magnesium. Denna metod har uppvisat positiva resultat i ett projekt på Island. (Mooney, C. (2016))

Det finns även exempel på CCS-lösningar där koldioxiden samlas in direkt från atmosfären. Dessa lösningar utgår då från en lägre koncentration koldioxid i sitt inflöde än vad lösningar direkt kopplade till koldioxidproducenter gör. Detta innebär att energin som krävs för att samla in samma mängd koldioxid är högre hos fristående CCS-lösningar än hos CCS kopplat till exempelvis ett kolkraftverk. (Marshall, C. (2017))

## 2.2. Praktiska tillämpningar

Idag finns ett antal olika anläggningar för CCS med många nya anläggningar i planerings- eller uppförandestadiet. Den äldsta anläggningen för CCS som används för en utökad oljeutvinning uppfördes 1972 i USA och separerar ut ca 0,5 miljoner ton koldioxid per år (Mtpa) från naturgas. Tio år senare uppfördes en liknande anläggning som separerar ca 0,7 Mtpa från produktion av handelsgödsel. Detta efterföljdes av en anläggning med en kapacitet på 7 Mtpa, som även den var involverad i naturgasbearbetning i USA. (Global CCS Institute. (2018))

Nästa stora steg skedde år 1996, då norska Statoil (Everett, B. (2012)) färdigställde sin slutförvaring Sleipner i de stora sandstensfälten ute i Nordsjön. Denna anläggning separerar även den ut koldioxid från naturgas till en magnitud av ungefär 1 Mtpa. Ca tolv år senare uppfördes den likartade anläggningen Snøhvit uppe i Barents hav norr om Nordnorge med en kapacitet på 0,7 Mtpa. (Global CCS Institute. (2018))

Nästa stora anläggning för utseparering av koldioxid uppfördes 2010 i USA för att utvinna mer olja. Även denna anläggning bygger på separering av

koldioxid från naturgas, men då till magnituden av 8,4 Mtpa. (Global CCS Institute. (2018))

2014 uppfördes den första kolbaserade CCS-anläggningen i Kanada. Denna anläggning separerar varje år ut ca 1 miljon ton koldioxid från förbränningen av kol. Koldioxiden pumpas genom rörledningar både till oljefälten i Saskatchewan i Kanada för utökad utvinning av olja, samt till ett närliggande slutförvaringsprojekt. (Global CCS Institute. (2018))

Nästa bransch som blev utrustad med en CCS-anläggning var järn- och stålindustrin i Förenade Arabemiraten. 2016 uppfördes anläggningen Abu Dhabi CCS i anslutning till stålverket i Mussafah, Förenade Arabemiraten som den första kommersiellt gångbara CCS-anläggningen. Abu Dhabi CCS förser varje år oljefälten med ca 0,8 miljoner ton koldioxid. (Global CCS Institute. (2018))

Idag finns en total kapacitet på ca 31,8 Mtpa koldioxid i världens alla större CCS-anläggningar, varav 3,7 Mtpa för enbart lagringssyfte. I planerings- och projekteringsstadiet finns ytterligare CCS-projekt, varav ett stort antal dedikerat till slutförvaring av uttjänt koldioxidavfall. (Global CCS Institute. (2018))

Utanför Australiens nordvästra kust planeras injektion av koldioxid i havsbotten till en kapacitet av mellan 3,4 och 4,0 Mtpa från ett antal olika naturgasprojekt. Denna injektionsanläggning bedöms stå färdig år 2019, och motsvarar ensamt samma årliga förvaringskapacitet som övriga anläggningar nu i drift för lagring tillsammans. (Global CCS Institute. (2018))

I havet mellan delstaterna Victoria och Tasmanien i Australien projekteras för ytterligare ett slutförvaringsprojekt. De initiala planerna är att separera och injicera mellan 1 och 5 Mtpa koldioxid, vilket planeras uppföras under 2020-talet. (Global CCS Institute. (2018))

Cementindustrin är ytterligare en koldioxidintensiv industri. Ett projekt i Norge för slutförvaring av koldioxid från cementindustrin bedöms stå klart 2024 och ha en kapacitet av 0,8 Mtpa koldioxid. (Global CCS Institute. (2018))

Storbritannien har ett antal slutförvaringsprojekt i tidig utveckling för slutföring under 2020-talet. Det största av dessa projekt bedöms ha en kapacitet om 3,0-4,0 Mtpa koldioxid, medan de mindre bedöms ha en kapacitet på 0,8 Mtpa, 3,0 Mtpa samt 1,5 Mtpa. Tillsammans har dessa projekt en kapacitet om ca 9 Mtpa. Detta kan jämföras med Storbritanniens totala utsläpp om ca 420 miljoner ton koldioxid om året, vilket då motsvarar en utsläppsminskning om ca 2%. (World Bank. (2018)) (Global CCS Institute. (2018))

De större CCS-anläggningar som idag är i planerings- och utvecklingsstadiet motsvarar en kapacitet på mellan 37 Mtpa och 43,1 Mtpa, varav mellan 23 Mtpa och 28,6 Mtpa till slutförvaring av koldioxid. Totalt skulle detta

innebära en kapacitet av mellan 68,8 Mtpa och 74,9 Mtpa, varav mellan 26,7 Mtpa och 32,3 Mtpa koldioxid för lagring. (Global CCS Institute. (2018))

Anläggningar blir allt större samtidigt som den nedre gränsen för vad som är effektivt blir allt lägre. Anläggningar som släpper ut mindre än 100 000 ton koldioxid per år är idag för små för att CCS ska fungera effektivt. Större anläggningar kan dra nytta av processmässiga skalfördelar, vilka de mindre anläggningarna går miste om. (Energimyndigheten. (2010))

### 2.3. Begränsningar

Trots att många goda effekter kan komma från CCS, är tekniken inte utan problem. För att utvinna koldioxid från olika källor, krävs en stor mängd energi. Detta kan innebära att användningen av fossila bränslen måste öka för att möta den ökade efterfrågan på energi till just CCS. Detta har utöver de ökade koldioxidnivåerna sina övriga miljömässiga och sociala nackdelar. (Rosell, E. (2016))

Vidare kan minskade utsläpp genom CCS från fossila bränslen både leda till inlåsnings effekter och reboundeffekter. När stora CCS-anläggningar byggs, innebär detta ofta en stor investering med en lång livslängd. Detta innebär att det är ekonomiskt svårare att lägga ner ett fossilt kraftverk i förtid. Dessutom kan de minskade utsläppen av koldioxid legitimera en fortsatt användning av de fossila bränslena. (Rosell, E. (2016))

En tredje stor nackdel för olika former av CCS är dess höga kostnad. Ett sätt att göra CCS mer lönsamt är genom ett högre pris på utsläpp av koldioxid. I Sverige finns idag en koldioxidskatt på över 140 euro/ton koldioxid utöver EU:s utsläppsrättshandel på ca 30 euro/ton koldioxid. Dessa tas dock enbart ut på fossila bränslen, vilket innebär att de största koldioxidkällorna i Sverige, exempelvis pappersindustrin, inte täcks av dessa högre koldioxidkostnader. (Rosell, E. (2016))

## 3. CDR

### 3.1. Hur det funkar

CDR står för *Carbon Dioxide Removal*, och det innebär olika sorters strategier för att samla in koldioxid främst på biologisk väg i olika former av vegetation, mark eller hav och därigenom minska koldioxidbördan på klimatet. Detta kan utföras på ett antal olika sätt, vilka alla bygger på olika principer för insamling av koldioxid. (Everett, B. (2012))

Ett av de sätt denna form av koldioxidinsamling kan ske är genom återbeskogning. Detta innebär att skog återplanteras på platser där den sedan länge saknats. När skogen växer binder den in koldioxid i form av olika kolhydrater tack vare fotosyntesen som äger rum i trädens blad och barr. När träden i skogen dör och börjar ruttna, återvänder dock en stor del av koldioxiden till atmosfären. (Everett, B. (2012))

För att utöka nyttan med denna metod, är det möjligt att använda virket till andra ändamål. Ett sådant ändamål är genom att gräva eller plöja ner

vegetationen i marken. Då sker en anaerob nedbrytning av den organiska materia, vilket inte orsakar utsläpp av koldioxid. Detta kan ske med intakt växtmaterial, eller i form av träkol. En fördel med denna metod är att den nedplöjda vegetationen kan ge näring åt andra växande material, vilket kan hjälpa till att minska användningen av koldioxidintensiv handelsgödsel. (Everett, B. (2012))

Ett ytterligare användningsområde för virket är att använda det vid uppförande av olika byggnader. Detta binder upp koldioxiden under byggnadens livstid. Efter byggnadens livstid kan virket användas i kraftvärmeverk tillsammans med flis och andra biobränslen. Dessa kraftvärmeverk kan då vara uppkopplade till ett CCS-system, vilket samlar in koldioxiden för lagring. Denna bioenergiuppkopplade CCS kallas även BECCS. (Everett, B. (2012))

För att minska mängden koldioxid i atmosfären är det även möjligt att binda koldioxid i världens hav. Koldioxid kan bindas i haven på två huvudsakliga sätt. Ett av dessa är att koldioxid löser sig i vatten många gånger bättre än vad atmosfären gör. Koldioxid löser sig gradvis i havsvattnet och bildar kolsyra, men vatten kan inte hålla hur mycket kolsyra som helst. Haven innehåller dock väldigt stora mängder vatten, och tack vare de stora havsströmmarna kan denna kolsyrebeladda spridas ut i hela haven mer effektivt och facilitera en inbindning av mer koldioxid. (Everett, B. (2012))

Den andra vattenbaserade koldioxidinbindningsmetoden bygger på att olika plankton och cyanobakterier i vattnet använder koldioxid för att växa med hjälp av fotosyntesen på samma sätt som landlevande växter. När dessa plankton dör sjunker de till botten och bildar efter tid stora sedimentära lager, utan att frisätta all inbunden koldioxid. Denna metod kan påskyndas genom tillsats av olika näringsämnen som dessa plankton behöver för att växa effektivt. Detta kräver dock monitorering då en för hög näringsnivå kan leda till ett dött hav, likt vi kan se i Östersjön. (Everett, B. (2012))

### **3.2. Praktiska tillämpningar**

Skogsåterplanering är en process som kan ta lång tid och är del av ett hållbart skogsbruk. I Skottland vid början av 1900-talet hade andelen skog av den totala landytan minskat till 5% till följd av avskogning. Genom arbete med återplantering har denna siffra stigit till ca 17%. Den skotska regeringen har målsättningen att nå 25% skog av den totala landytan. (Everett, B. (2016))

En första BECCS-anläggning i USA invigdes 2017. Denna anläggning producerar etanol från majs och i denna process genereras utsläpp motsvarande en miljon ton koldioxid per år. Denna koldioxid samlas nu istället in för lagring djupt ner i marken. (Supermiljöbloggen. (2018))

### **3.3. Begränsningar**

Precis som andra koldioxidbindande tekniker är kostnaden för att binda koldioxid hög. Enligt IPCC finns potential att binda kol genom återbeskogning mellan 1,3 och 14 miljarder ton koldioxid per år genom storskalig återbeskogning till en kostnad av mellan 18 och 90 euro per ton

koldioxidekvivalenter. Detta kan jämföras med människans totala årliga utsläpp av koldioxid på 36,1 miljarder ton koldioxid. (World Bank. (2018)) (Everett, B. (2012))

Vidare krävs stora landytor för denna typ av storskalig växtbaserad inbindning. Detta kan tränga undan annan viktig vegetabilisk odling eller andra viktiga naturvärden samt samhällliga värden. Exempelvis finns risken att matproduktion får mindre markyta allokera eller att viktiga biotoper blir störda av det ökade skogsbruket. (Rosell, E. (2016))

Beroende på vilken mark som används till denna biobränslebaserade CCS, kan koldioxidutsläppen komma att öka under en lång tid framöver. Detta kan främst ske om den mark som används tidigare var tropisk regnskog eller annan högproduktiv mark. För att jämföra olika alternativ kan måttet *carbon payback time* användas, vilket är ett mått på hur lång tid det tar att återställa den koldioxidbalans som rubbats när högabsorberande mark ersätts med annan odling. (Rosell, E. (2016))

#### 4. Applicering på nationell nivå

Sverige är idag ett rikt land med stora biologiska resurser. Sverige är också ett land med ett antal stora industrier vilka enskilt släpper ut stora mängder koldioxid, även kallade punktutsläppare. Några av de största fossila punktutsläpparna är kraftverket i Luleå på ca 2,3 miljoner ton koldioxid, stålverket i Oxelösund på ca 2,2 miljoner ton koldioxid, cementfabriken i Slite på ca 1,7 miljoner ton koldioxid och två oljeraffinaderier på västkusten på 1,7 miljoner ton koldioxid vardera. (Energimyndigheten. (2010))

Biologiskt baserade punktutsläppare inkluderar massafabriken i Mönsterås på ca 1,8 miljoner ton koldioxid, pappersfabriken i Skutskär på 1,6 miljoner ton koldioxid, pappersfabriken i Gävle på 1,4 miljoner ton koldioxid, massafabriken i Mörrum på 1,2 miljoner ton koldioxid samt ett antal fler anläggningar inom massaindustrin. Sammantaget utgör biologiskt baserade utsläpp 58% av alla punktutsläpp över 100 000 ton koldioxid. Även för punktutsläppare med utsläpp över en miljon ton koldioxid per år dominerar de biologiskt baserade koldioxidutsläppen. (Energimyndigheten. (2010))

#### 5. Diskussion

CCS och CDR är båda viktiga tekniker för att den globala temperaturökningen stannar under 1,5°C. CDR har funnits på Jorden sedan introduktionen av fotosyntes, medan CCS har existerat sedan början av 1970-talet. I nuläget är dessa tekniker dyra och ineffektiva, vilket innebär att den nytta de kan frambringa inte är vad som skulle behövas för att minska utsläppen av koldioxid. Precis som med annan teknik, utvecklas även denna teknik med bland annat många nya anläggningar för CCS som har allt större kapacitet i planeringsstadiet.

Den höga andel biologiskt baserade utsläpp skiljer Sverige åt från industrin i övriga delar av världen. Detta innebär också att förutsättningarna för CCS ser annorlunda ut i Sverige mot vad det gör på andra platser. Eftersom biologiskt baserade utsläpp är undantagna från koldioxidavgifter är CCS relativt olönsamt för dessa anläggningar.

Om CCS ändå skulle anläggas i anslutning till massindustrin, finns stor potential för insamling av koldioxid.

För att CCS ska bli mer lönsamt behöver kostnaden för att släppa ut koldioxid öka, vilket innebär att en investering i CCS kan leda till kostnadsbesparingar för punktutsläpparna. Utöver en högre kostnad för utsläpp av fossil koldioxid, bör även koldioxid från biologiska källor ha en viss kostnad associerad till sig. Detta skulle innebära att även denna typ av punktutsläppare troligtvis skulle kopplas upp till CCS, något som skulle innebära lägre utsläpp i Sverige.

Med utveckling av de olika teknikerna för insamling av koldioxid, kommer det att bli billigare och mer effektivt att samla in koldioxid. Detta skulle innebära att fler anläggningar skulle bli anslutna till CCS-anläggningar, vilket skulle minska mängden koldioxid som släpps ut i atmosfären drastiskt.

### **5.1. Slutsats**

CCS och CDR har stor potential att vara till nytta med att minska människans globala utsläpp av koldioxid. CCS och CDR har dock stora problem som måste tas hänsyn till innan teknikerna kan appliceras globalt och i den stora skala som behövs för att tackla klimatomställningen.

I Sverige är det främst de stora utsläpparna inom stål- och järnindustrin, cementindustrin, oljeindustrin samt olika kraftverk som skulle vara aktuella för CCS, medan ett antal anläggningar inom massindustrin skulle kunna vara aktuella för CCS om det vore mer finansiellt gångbart.

I liten skala kan vissa återplaneringsprojekt initieras, vilka kan resultera i ett ökat uttag av biobränsle eller byggmaterial. Detta kan dessutom tränga undan användningen av vissa koldioxidintensiva produkter. Idag finns inte de ekonomiska och tekniska förutsättningar som krävs för småskalig CCS, men med en allt mer akut situation gällande utsläppen av koldioxid kommer teknikutvecklingen att gå snabbt framåt för att kunna tackla detta globala problem - för att fånga kolet.

**Referenser:**

IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C - Summary for Policymakers*.

Energimyndigheten. (2010). *Systemstudie av möjligheter att etablera en infrastruktur för CCS i Östersjöregionen*. Energimyndigheten. (ER 2010:36)

Everett, B. (2012). *Energy Systems and Sustainability*. 2 uppl. Oxford: Oxford University Press

Global CCS Institute. (2018). *Large-scale CCS facilities*. Hämtad den 17 oktober 2018 från <https://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>

Marshall, C. (2017). Switzerland, a giant new machine is sucking carbon directly from the air. *Sciencemag*. 1 juni.

Mooney, C. (2016). This Iceland plant just turned carbon dioxide into solid rock — and they did it super fast. *Washington Post*. 9 juni.

Rosell, E. (2016). *CCS - Hjälper eller stjälper klimatet?* Fores. (Fores 2016:1)

Supermiljöbloggen. (2017). *Koldioxidlagring från bioenergi – här är världens första storskaliga anläggning*. Hämtad den 17 oktober 2018 från <http://supermiljobloggen.se/nyheter/2017/04/koldioxidlagring-fran-bioenergi-har-ar-varldens-forsta-storskaliga-anlaggning>

World Bank. (2018). *CO2 emissions (kt)*. Hämtad den 17 oktober 2018 från <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>