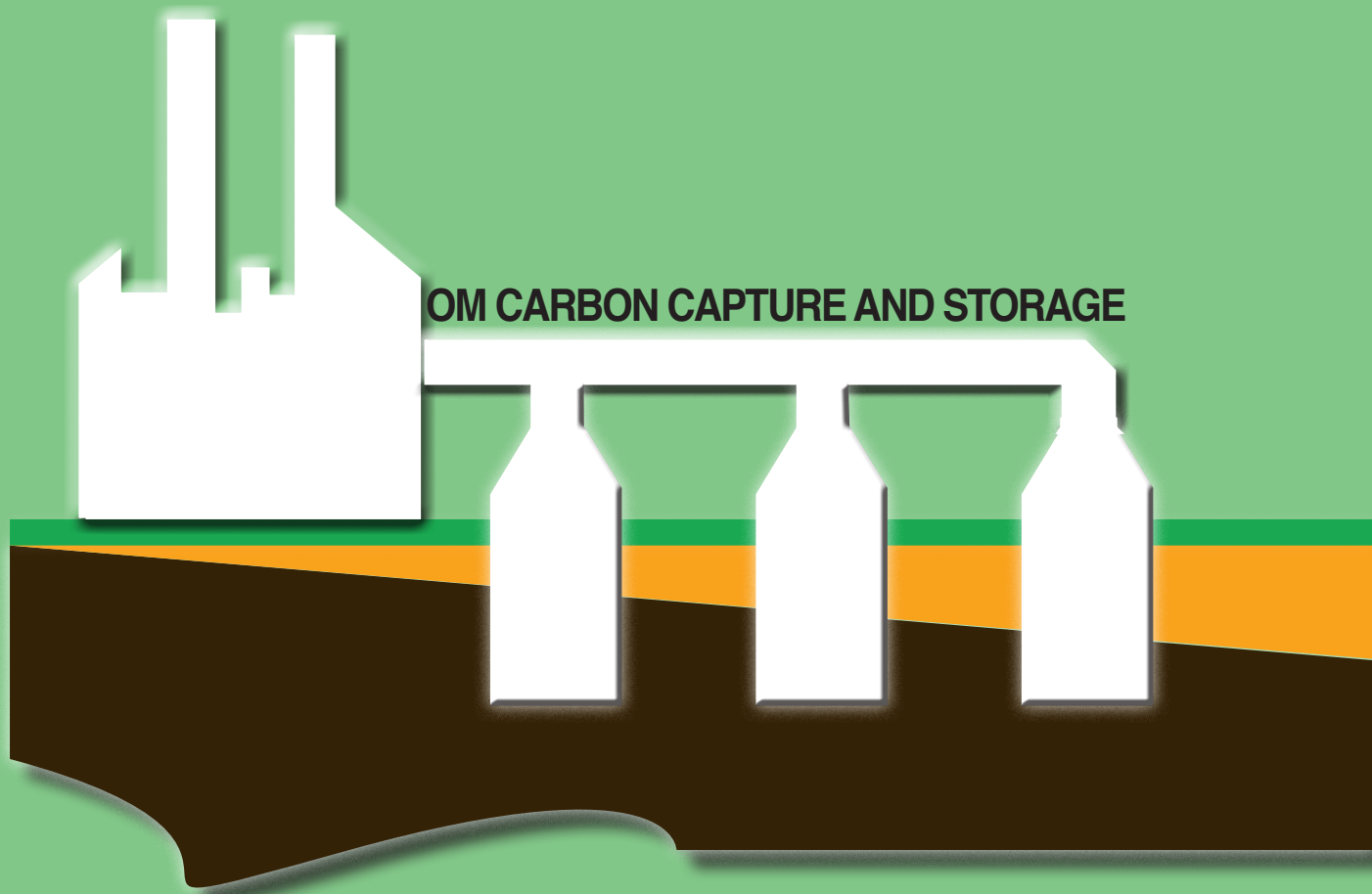


CCS - HJÄLPER ELLER STJÄLPER KLIMATET?



Elias Rosell

FORES bakgrundsrapport 2016:1

FORES

Förord

Dags att ta hand om koldioxiden!

Två avgörande saker hände på klimattoppmötet i Paris: Världen enades om att skärpa klimatmålen till “well below” två graders temperaturhöjning, med sikte på 1,5 grader. Och vi lät klockan gå, utan att enas om utsläppsminskningar för tiden fram till år 2020, eller någon konkret handlingsplan för tiden därefter.

Sammantaget betyder det att de klimatpåverkande utsläppen åtminstone i vår del av världen måste ner till mycket nära noll och helst en bit under noll. Vi kan alltså inte välja och vraka mellan olika satsningar för att minska vår klimatpåverkan, utan måste anta en “all of the above-approach”. I detta ingår smart utformad förnybar energi, effektiviseringssatsningar, smartare mobilitet, ändrade spelregler för energi- och transportsektorn och minskad avskogning, men också att ta hand om de koldioxidutsläpp som trots allt sker.

Av IPCC:s många scenarier är det nästan bara med CCS - carbon capture and storage - som världen klarar tvågradersmålet. Skärpningen av målet på klimattötet i Paris förstärker den bilden; vi behöver storskaligt, på många håll i världen och relativt snart börja fänga upp, avskilja och lagra koldioxid. Det gäller både från den kvarvarande fossila produktionen, och vid förbränningen av förnybara råvaror, som med CCS-teknik kan innebära en klimatpåverkan som totalt sett hamnar under noll.

Vår rapport visar att CCS-tekniken är mogen för storskalig introduktion, att tekniken - om den används rätt - levererar de förväntade och nödvändiga utsläppsminskningarna - men också att de CCS-anläggningar som planeras inte på långa vägar räcker för att göra ett rejält klimatavtryck. Det beror delvis på ekonomiska förutsättningar; det är helt enkelt för billigt att släppa ut koldioxid i atmosfären och för dyrt att ta hand om koldioxiden. Men det beror också på att många från miljörelse och politik har ställt koldioxidlagring mot investeringar i förnybar energi, som om vi kunde välja antingen eller när vi måste välja både och. Det finns också en oro för att CCS förlänger livslängden på gammal teknik, men att inte hantera kolkraftverkens koldioxidutsläpp är inget effektivt sätt att avveckla dem.

På sistone har vi uppfattat mer positiva tongångar om koldioxidlagring från ledande miljöorganisationer och politiker från såväl majoritet som opposition, både i Sverige och i andra länder. Det är glädjande, men ett ändrat tonläge i debatten räcker inte långt i klimatfrågan. Samma aktörer som brukar säga att “det går inte att förhandla med naturen” bör inse att bara ord inte räddar vår jord, vårt klimat eller den samhällsutveckling vi önskar. Det är hög tid att gå till storskalig handling och ta hand om den koldioxid som trots allt släpps ut, och världen väntar på en aktör som går före och visar vägen. Vem ska det bli?

Mattias Goldmann

Vd, den gröna och liberala tankesmedjan Fores

1 Inledning

Världens länder är överens om att ökningen av den globala medeltemperaturen ska vara under två grader jämfört med innan industrialiseringen.¹ De åtgärder världens ledare kommit överens om hittills räcker sannolikt inte för att hålla temperaturökningen under den gränsen.² Om inte ytterligare utsläppsminskningar sker så förväntas den globala medeltemperaturen år 2100 ha stigit med 2,5-7,8 grader, varav det mest sannolika är att temperaturökningen blir 3,7-4,8 grader.³ För att det ska vara sannolikt att den globala uppvärmningen under detta århundrade blir under två grader jämfört med innan industrialiseringen behöver de mänskliga växthusgasutsläppen minska med 40-70 procent till 2050 jämfört med 2010 och nästan ha upphört vid slutet av detta århundrade. I IPCC:s scenarier där tvågradersmålet nås minskar utsläppen från den globala energisektorn med 90 procent till 2040-2070 jämfört med 2010.⁴

Till 2050 ska EU ha minskat sina växthusgasutsläpp med 80-95 procent jämfört med 1990. Energisektorn ska ha minskat sina utsläpp med 93-99 procent och industrin med 83-87 procent under samma tidsperiod.⁵

Alliansregeringen beslöt 2008 att "*Visionen är att Sverige år 2050 inte har några nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären.*"⁶ På Regeringens hemsida under "Mål för klimat och miljö" står det nu inget om klimatmål för 2050.⁷ Den nuvarande regeringen gav miljömålsberedningen i uppdrag att "*föreslå ett nytt långsiktigt klimatmål för Sveriges minskning av nationella utsläpp av växthusgaser till år 2050*". Ett mål kan förväntas antas 2017.⁸

¹ UNFCCC, 2010

² IPCC, 2014b, s. 24

³ IPCC, 2014a, s. 8

⁴ IPCC, 2014a, s. 10-12 & 18

⁵ Europeiska kommissionen, 2011b

⁶ Regeringen, 2008

⁷ Regeringskansliet, 2015a

⁸ Regeringskansliet, 2015b

2 Avskiljning och lagring

Både IPCC och Energimyndigheten utgår ifrån att koldioxidavskiljning i första hand är aktuellt för anläggningar som släpper ut minst 100 000 ton koldioxid per år. Exempel på dessa anläggningar är kraftverk, järn- och stålverk, cementfabriker och raffinaderier.^{9/10} Vid bio-CCS lagras koldioxid från förbränning av biomassa. Växter binder koldioxid från atmosfären i samband med fotosyntesen. När koldioxiden från förbränningen av biomassa sedan lagras innebär det att koldioxid tagits från atmosfären och lagrats i berggrunden. På det viset skapas så kallade "negativa utsläpp" som gör att koldioxidhalten i atmosfären sjunker.¹¹ Dessa utsläpp kallas i rapporten för biogena utsläpp/biogen koldioxid.

Koldioxiden kan avskiljas före eller efter förbränning. Tekniken kallas "post-combustion process" eller "pre-combustion process" beroende på när avskiljningen sker. En fördel med "post-combustion" är att det kan installeras i efterhand i en befintlig anläggning.¹² En ny teknik för koldioxidavskiljning är "oxy-combustion systems" där rent syre används till förbränningen istället för luft.¹³

Efter avskiljningen behöver koldioxiden komprimeras för att kunna lagras geologiskt. För att transportera koldioxiden till lagringsplatsen används vanligen rörledningar eller marina transporter.¹⁴ Tekniken för transport och lagring är till stor del densamma oavsett om fossilenergi eller bioenergi används. Tekniken för koldioxidavskiljningen är, beroende på att förbränningsgasen skiljer sig åt, något annorlunda beroende på om det är fossil eller biogen koldioxid som avskiljs.¹⁵

Koldioxiden bör lagras i berggrunden på minst 800 meters djup i och med att den där uppnår ett tillstånd där volymen minskar i jämförelse med tillståndet vid markytan, vilket gör att mer koldioxid kan lagras. Koldioxid kan dock lagras på ett lägre djup än 800 meter om den injekteras¹⁶ med övertryck. En grundförutsättning för koldioxidlagring är en bergart med hög porositet och genomsläpplighet. För att koldioxiden inte ska läcka ut krävs det att bergarten ovanför, takbergarten, är tät och har en låg porositet och genomsläpplighet. Den bästa bergarten att lagra koldioxid i är sandsten, som vanligtvis har en porositet på 10-30 procent.¹⁷ Lämplig geologisk miljö i Europa för att lagra koldioxid i är djupa akviferer samt gas- och oljereservoarer. En akvifer är en geologisk formation som det går att utvinna grundvatten ur. I djupa akviferer har dock grundvattnet en för hög salthalt för att konsumeras som

⁹ IPCC, 2005, s. 22-23

¹⁰ Energimyndigheten, 2011, s. 40

¹¹ Arasto, 2014

¹² Smit et al. 2014, s.143

¹³ Rubin et al. 2012

¹⁴ Rackley, 2010, s. 331

¹⁵ Vergragt et al. 2011

¹⁶ Teknisk term för att spruta in för att fylla sprickbildningar.

¹⁷ Erlström et al. 2011, s. 16,18, 21 & 24

dricksvatten.¹⁸ Koldioxid i en akvifer lagras genom att den samlas i porutrymmen, att den upplöses i vattnet, att den omvandlas till fast karbonatmineral genom reaktion med silikatmineraler och genom att koldioxiden binds till kolpartiklar och organiskt material. I Sverige är djupa akviferer den intressantaste formationen för att lagra koldioxid i.¹⁹ Potentiella lagringsplatser i Sverige finns i sydvästra Skåne och under havsbotten både utanför Skånes kust och söder om Gotland.²⁰

Tömnda gas- och oljelager har fördelen att de bevisligen har kunnat förvara oljan och/eller gasen på plats under miljontals år, dock måste exempelvis borrhål stängas igen. Koldioxid kan även lagras i samband med oljeutvinning enligt CO₂-EOR metoden. Koldioxiden injekteras då ner till oljefyndigheten där den under vissa omständigheter kan göra oljan lättare, mindre trögflytande och därför underlättar utvinningen, en process som kan ta månader eller år. Resultatet blir sedan att olja, vatten och koldioxid kommer upp från berggrunden. Koldioxiden och vattnet återanvänds till nästa injektion vilket gör att koldioxiden lagras i systemet.^{21,22}

IPCC:s generella slutsatser om CCS, sammanfattade i "Summary for Policymakers", är att:

- CCS kan reducera livscykelutsläppen från fossilkraftverk.
- CCS kan komma ut på marknaden genom regler, högt pris på koldioxid eller direkt finansiell support.
- Det även behövs ett tydligt regelverk för det långsiktiga ansvaret för lagringen.
- Säkerheten kring transport och lagring kan bli en barriär men det finns alltmer forskning om hur koldioxiden kan lagras säkert.
- Bio-CCS ger möjlighet till storskaliga negativa utsläpp och bio-CCS har samma nackdelar som storskalig produktion av bioenergi och CCS i övrigt kan ha.²³

Det är också möjligt att använda koldioxid istället för att lagra den. Tekniken kallas då Carbon Capture and Utilization (CCU). Exempel på det är att låta koldioxid reagera med vissa mineraler, kalcium eller magnesiumsilikater, där det ämne som bildas, karbonater, kan användas som byggnadsmaterial eller lagras. En nackdel med denna teknik är att den kräver mycket gruvbrytning för att ta fram de mineraler som koldioxid kan reagera med. En annan metod är att tillföra koncentrerad koldioxid till odlingar av mikroalger som tar upp koldioxid. Algerna kan sen användas som mat, bränsle eller gödsel.²⁴ Även oljeutvinning enligt CO₂-EOR-tekniken kan ses som en form av CCU.²⁵ IPCC bedömer dock att det är osannolikt att användning av koldioxid skulle kunna bli en stor del av utsläppsminskningarna.²⁶

¹⁸ Smit et al. 2014, s. 355-369 & 394

¹⁹ Erlström et al. 2011, s. 21 & 35

²⁰ Møl Mortensen, 2014

²¹ Smit et al. 2014, s. 336-367

²² Hovorka, 2015

²³ IPCC, 2014, s. 21

²⁴ Styring et al. 2011

²⁵ Cuellar-Franca & Azapagic, 2015

²⁶ IPCC, 2014a, s. 755

3 Pågående projekt

Världens första kommersiella kraftverk med koldioxidavskiljning och lagring öppnades i oktober 2014, Boundary Dam Power Station i Saskatchewan i Kanada.

Det kostade 1,3 miljarder USD att införa koldioxidavskiljning enligt tekniken för "post-combustion" på en av de fyra generatorerna i kolkraftverket. Projektet fick ett statligt stöd på 240 miljoner kanadensiska dollar från den kanadensiska regeringen. CCS-tekniken kräver energi för koldioxidavskiljningen, komprimeringen av koldioxiden och för pumpar och fläktar.²⁷ För att driva CCS-tekniken i Boundary Dam behöver 20-30 procent av den el som produceras i kraftverket användas, därmed minskar mängden el som går ut från kraftverket med 20-30 procent. Genom att sälja den infångade koldioxiden till en oljeproducent, som använder koldioxiden till oljeutvinning enligt CO₂-EOR-tekniken, skapas extra intäkter som kompenserar för en del av den minskade elproduktionen. Den koldioxid som inte används till oljeutvinning lagras i en akvifer.^{28,29,30,31,32}

I nuläget (våren 2016) finns det globalt 14 storskaliga CCS-projekt i drift, varav sju i USA, två i Kanada respektive Norge och ett var i Algeriet, Brasilien och Saudiarabien. Ytterligare åtta är under konstruktion. I nio av de 14 befintliga anläggningarna kommer koldioxiden från naturgasbearbetning, i ett fall från tillverkning av syntetisk gas, i två fall från anläggningar som tillverkar gödningsmedel, en av anläggningarna är kraftverket Boundary Dam och i ett fall avskiljs koldioxiden från en anläggning som tillverkar väte. I elva av de 14 anläggningarna används koldioxiden i huvudsak för oljeutvinning enligt CO₂-EOR-tekniken och i tre fall lagras koldioxiden geologiskt. De anläggningar där koldioxiden lagras geologiskt är Sleipner och Snøhvit i Norge och In Salah i Algeriet.³³

Bland de storskaliga koldioxidavskiljningsanläggningarna under konstruktion märks ett järn- och stålverk i Förenade Arabemiraten och en anläggning med etanolproduktion i USA.^{34,35} År 2011 avbröt Vattenfall sitt CCS-projekt i Tyskland, främst på grund av politiskt motstånd.³⁶ Av de 22 CCS-projekt som är i drift eller konstruktion så är inget i ett EU-land. CCS har enligt EU-kommissionen "*inte fått något uppsving i Europa*" och att "*även de mest lovande EU-projekten lider av betydande förseningar på grund av en rad olika skäl*".³⁷

²⁷ Rubin et al. 2012

²⁸ MIT, 2015a

²⁹ MIT Technology & Review

³⁰ Mining Journal, 2015

³¹ Power Technology

³² Kemp, 2014

³³ Global CCS Institute

³⁴ Global CCS Institute

³⁵ National Energy Technology Laboratory, 2014

³⁶ Zettersten, 2011

³⁷ Europeiska Kommissionen, 2013

Av de 13 CCS-projekt som befinner sig i planeringsstadiet innan ett investeringsbeslut så finns det, enligt Global CCS Institutes sammanställning, fyra projekt i EU-länder - tre i Storbritannien och ett i Holland. Samtliga handlar om att avskilja koldioxid från kraftverk och lagra koldioxiden geologiskt.³⁸ Men framtiden för CCS i Storbritannien är osäker. Storbritanniens regering meddelade i slutet av november att de tar bort anslaget på en miljard pund för CCS.^{39,40} Med anledning av beskedet meddelade Shell att de inte kommer att fullfölja CCS-projektet Peterhead.⁴¹ Energibolaget Drax meddelade den 25 september 2015 att inte heller de kommer att fullfölja investeringen i CCS-projektet White Rose.⁴² Som motivering anger de att de som stor producent av förnyelsebar el drabbas av den brittiska regeringens beslut att ta bort skatteundantag för förnybar el som säljs till industriföretag och att de därför måste skära ned på framtida investeringar.⁴³ Det betyder dock inte att det är säkert att projektet inte blir av. Drax har tillsammans med ingenjörföretaget Alström och kemiföretaget BOC bildat samföretaget Capture Power Ltd som driver White Rose-projektet.⁴⁴ Drax meddelade att platsen och infrastrukturen kommer att finnas tillgänglig för att projektet ska kunna färdigställas och VD:n för Capture Power meddelade att de fortfarande vill slutföra projektet.^{45,46}

Ett pilotprojekt ägde rum mellan 2009-2010 i Eons kraftverk i Karlshamn. Projektet innefattade avskiljning av koldioxid, men inte lagring.⁴⁷ På Island finns en demonstrationsanläggning för koldioxidlagring genom mineralisering.⁴⁸ Ett schweiziskt företag beslöt i oktober att bygga världen första kommersiella anläggning där koldioxid fångas in i luften för att sedan användas för att öka produktionen av grönsaker.⁴⁹ Miljöminister Åsa Romson sade den 4 januari 2016 i ett svar på en skriftlig fråga från Jesper Skalberg Karlsson (M) om CCS att *"I Sverige kan finnas förutsättningar att åstadkomma negativa utsläpp i samband med eldning av biomassa för energiändamål genom att tillämpa koldioxidavskiljning och lagring. Även delar av bas-industrin med processrelaterade växthusgasutsläpp visar intresse för olika typer av CCS."*⁵⁰

³⁸ Global CCS Institute

³⁹ Dept of Energy & Climate Change

⁴⁰ BBC, 2015:a

⁴¹ Shell

⁴² Drax, 2015

⁴³ BBC, 2015b

⁴⁴ Murray, 2015

⁴⁵ Drax, 2015

⁴⁶ White Rose, 2015

⁴⁷ MIT, 2015b

⁴⁸ Orkuveita Reykjavíkur

⁴⁹ Pultarova, 2015

⁵⁰ Riksdagen

4 Vilket är behovet av CCS?

IPCC skriver att i majoriteten av scenarierna med en låg koldioxidhalt (430-530 ppm) så ökar andelen av elförsörjningen från förnybar energi, kärnkraft, fossilenergi med CCS från den nuvarande andelen på cirka 30 procent till mer än 80 procent 2050. Scenarier där koldioxidhalten begränsas till 450 ppm, då det är sannolikt att tvågradersmålet nås, kännetecknas av *“en snabb utveckling inom energieffektivisering och en tredubbling till nära en fyrdubbling av andelen koldioxidfri och snål energiproduktion från förnyelsebart, kärnkraft, fossilenergi med CCS och bioenergi med CCS”*.⁵¹

IPCC anger att det är enklare att nå tvågradersmålet med CCS än utan. IPCC gör en sammanställning över scenarier för olika sektorer där koldioxidhalten begränsas till omkring 450 ppm. För elsektorn så kan koldioxidhalten begränsas till omkring 450 ppm i 36 scenarier med CCS och i fem scenarier utan CCS. För industrisektorn är motsvarande siffra 22 och tre.⁵²

Negativa utsläpp är troligen nödvändigt för att uppnå tvågradersmålet och i och med det finns potential för bio-CCS. Enligt IPCC har scenarier där koldioxidhalten begränsas till 450 ppm år 2100 vanligtvis en högre koldioxidhalt än 450 ppm innan år 2100. Därför är de scenarierna beroende av att koldioxidhalten kan minska med hjälp av bio-CCS och skogsplantering. IPCC skriver att många scenarier där koldioxidhalten begränsas till 450 eller 550 ppm är starkt beroende av en storskalig utveckling av bioenergi med koldioxidinfångning och lagring. Enligt IPCC behövs det en snabb utbyggnad av alla tekniker som minskar utsläppen om den globala uppvärmningen ska begränsas till 1,5 grader.⁵³

IEA:s World Energy Outlook 2014 innehåller ett scenario där koldioxidhalten begränsas till 450 ppm. I det scenariot har det installerats CCS motsvarande 80 procent av den beräknade producerade elen från kolkraft. Utöver det har 22 procent av de gaseldade kraftverken CCS. En sådan utveckling kräver att 60 procent av kolkraftverken byggs om. Ifall behovet av CCS ska ersättas med vindkraft krävs det en tjugofaldig ökning av vindkraft.⁵⁴

Enligt EU:s ”Färdplan för ett konkurrenskraftigt utsläppsnålt samhälle år 2050” behövs koldioxidlagring för att industrisektorn ska nå EU:s klimatmål och enligt EU:s ”Energifärdplan för 2050” behövs koldioxidlagring för att EU ska uppnå sina klimatmål, undantaget ett av scenarierna som innehåller 97 procent förnybar energi.^{55,56}

Enligt en doktorsavhandling från Chalmers kommer EU:s klimatmål för industrin och energisektorn 2030 och 2050 inte att nås med nuvarande strategier och produktionsätt.

⁵¹ IPCC, 2014a, s. 10, 12 & 20

⁵² IPCC, 2014a, s. 480

⁵³ IPCC, 2014a, s. 12,16 & 870

⁵⁴ IEA, 2014, s.174-175

⁵⁵ Europeiska kommissionen, 2011b

⁵⁶ Europeiska kommissionen, 2011a

För att den koldioxidintensiva industrin (järn och stål, cement och oljeraffinaderier) ska nå EU:s klimatmål behövs ett genombrott för CCS eller teknik som påverkar produktionen av material och bränsle, om inte klimatmålen ska nås genom en kraftig minskning av efterfrågan på dessa produkter.⁵⁷ Men en minskad efterfrågan av järn- och stålproduktion kan dock vara svår att kombinera med en stor andel förnyelsebar energi. Sol- och vindenergi kräver bland annat upp till 50 gånger mer järn per installerad kapacitet än vad fossilenergi och kärnkraft gör. WWF:s scenarier med en 60-faldig ökning av sol- och vindenergi till 2050 motsvarar en ökning av världsproduktionen av bland annat stål med 5-18 procent.⁵⁸ Det gör att det går att ifrågasätta om scenariot där CCS inte behövs på grund av minskad produktion av järn och stål är ett realistiskt eller ens önskvärt scenario.

Industrin står för cirka 26 procent av de totala svenska utsläppen. Cirka hälften av industrins utsläpp är processutsläpp. Processutsläpp är *"utsläpp som inte kommer från förbränning för energi utan från själva materialprocessen i framställningen av t.ex. cement, reduktion av järnmalm, aluminium"*.⁵⁹ Med dagens produktionsätt kommer omvandlingen av kalk till cement och framställningen av stål att orsaka koldioxidutsläpp även om elen för att driva processerna skulle komma från 100 procent fossilfria källor. Avkarbonisering genom övergång till alternativa råmaterial kan vara ett sätt att komma åt processutsläppen. Men de teknikerna är *"långtifrån kommersiellt tillgängliga idag"*.⁶⁰

I Naturvårdsverkets "Underlag till en färdplan för ett Sverige utan klimatutsläpp 2050" finns det ett scenario med koldioxidlagring (inklusive bio-CCS) och ett scenario utan koldioxidlagring. I scenariot där Sverige blir klimatneutralt 2050 utan att köpa utsläppsrätter från andra länder används koldioxidlagring (inklusive bio-CCS).⁶¹

Om CCS ska vara utbyggt i stor skala i Sverige runt år 2050 bör ett demonstrationsprojekt påbörjas runt år 2025. Det kräver i sin tur ett strategiarbete som avslutas senast 2016 och ett forskningsprogram som det går att söka medel från redan våren 2016.⁶² Det är med andra ord brådskande.

⁵⁷ Rootzén, 2015

⁵⁸ Vidal et al. 2013

⁵⁹ Åhman et al. 2013, s. 6, 8 & 18

⁶⁰ Åhman et al. 2013, s. 6, 8 & 18

⁶¹ Naturvårdsverket, 2012, s. 23-31

⁶² Nilsson, 2015

5 För- och nackdelar

Fördelar

- **CCS ökar chansen att nå tvågradersmålet.**
Enligt IPCC⁶³ har scenarier där koldioxidhalten begränsas till 450 ppm år 2100, likvärdigt med tvågradersmålet, vanligtvis en högre koldioxidhalt än 450 ppm innan år 2100 och många av scenarierna där koldioxidhalten begränsas till 450 ppm är mycket beroende av negativa utsläpp genom bio-CCS.
- **CCS behövs för att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 grader.**
Enligt IPCC⁶⁴ behövs det en snabb utbyggnad av alla tekniker som minskar utsläppen.
- **CCS behövs för att EU:s klimatmål ska nås.**
Enligt både EU:s färdplan för ett konkurrenskraftigt utsläppsnålt samhälle och energifärdplanen behövs koldioxidlagring för att EU:s klimatmål ska uppnås.^{65,66} Enligt Rootzén behövs ett genombrott för CCS eller teknik som påverkar produktionen av material och bränsle, om inte klimatmålen ska nås genom en kraftig minskning av efterfrågan på dessa produkter.⁶⁷
- **CCS gör att Sverige kan bli klimatneutralt.**
I scenariot där Sverige blir klimatneutralt 2050 utan att köpa utsläppsrätter från andra länder används koldioxidlagring (inklusive bio-CCS).⁶⁸ Enligt scenarier i en rapport från IVL blir processutsläppen 2050 från industrin lägre om CCS används, det skiljer fem miljoner ton koldioxid mellan scenarierna. Negativa utsläpp genom bio-CCS kan vara ett sätt att kompensera för de utsläpp från processindustrin som bedöms finnas kvar 2050 även om CCS används.⁶⁹
- **Att nå tvågradersmålet är billigare med CCS än utan.**
Enligt IPCC blir kostnaden för att begränsa koldioxidhalten till 450 ppm 138 % högre om CCS-tekniken inte finns tillgänglig.⁷⁰
- **CCS ses som nödvändigt för att minska processutsläpp.**
För de utsläpp som inte går att minska genom byte av bränsle eller råmaterial "*bedöms CCS vara en förutsättning för att kunna sänka industrins koldioxidutsläpp till en låg nivå*".⁷¹

⁶³ IPCC, 2014a, s. 10 & s. 870

⁶⁴ IPCC, 2014a, s. 16

⁶⁵ Europeiska kommissionen, 2011b

⁶⁶ Europeiska kommissionen, 2011a

⁶⁷ Rootzén, 2015

⁶⁸ Naturvårdsverket, 2012, s. 23-31

⁶⁹ Gode et al. 2010

⁷⁰ IPCC, 2014b, s. 25

⁷¹ Nilsson, 2015, s.11

- Fossilenergi kommer att spela en viktig roll i världens energiförsörjning de kommande decennierna.**
 Utifrån existerande och planerade åtgärder så bedöms fossilenergi stå för lite mer än hälften av världens elproduktion år 2040.⁷² Miljöaktuellt skriver i en intervju med professorn Filip Johnsson att en relevant fråga i sammanhanget är om länder som Kina, Indien och Ryssland skulle avstå från att exploatera fossila resurser när inte ens ett så rikt land som Norge lämnar sin olja och gas oexploaterad.⁷³ CCS gör inte fossilenergi till ett problemfritt energislag. Men fossilenergi med CCS är ur klimatsynpunkt betydligt bättre än fossilenergi utan CCS.⁷⁴
- Erfarenheten hittills av koldioxidlagring och transport är överlag positiv.**
 Enligt utvärdering av lagringsplatserna Sleipner, Snøhvit och In Salah är koldioxidlagring tekniskt genomförbar och tekniken för att övervaka att den lagrade koldioxiden är långsiktigt säker fungerar effektivt. Ett "genombrott" av koldioxid upptäcktes vid ett av injektionshålerna i lagringsplatsen In Salah i Algeriet. Åtgärder har därefter vidtagits för att undvika framtida läckage från injektionshålet.⁷⁵ I USA fanns det år 2004 2400 km rörledningar för transport av koldioxid. Koldioxiden som transporteras kommer ofta från naturliga lager av koldioxid och transporteras till oljefält för att där användas i oljeutvinningen enligt metoden för CO₂-EOR. Statistik visar att rörledningar för transport av koldioxid är säkrare än rörledningar för transport av naturgas.⁷⁶
- IPCC bedömer att nästan all lagrad koldioxid stannar i berggrunden.**
 IPCC bedömer att för koldioxidlagring i stor skala är det *"väldigt sannolikt att mer än 99 procent av den lagrade koldioxiden bevaras under de första 100 åren"* och att *"det är sannolikt att mer än 99 procent av den lagrade koldioxiden bevaras under de första 1000 åren"*. Detta förutsatt att platserna för lagringen är *"väl utvalda, designade, hanterade och övervakade"*.⁷⁷
- Det finns tillräcklig geologisk kapacitet både globalt, för Europa och Sverige.**
 Enligt en metastudie lagras det i genomsnitt sammanlagt 1340 miljarder ton koldioxid globalt i de scenarier där koldioxidhalten är mellan 400-500 ppm år 2100. Globalt finns det praktisk geologisk kapacitet att lagra 3 900 miljarder ton koldioxid.⁷⁸ I scenarier där elsektorn når EU:s klimatmål lagras det 7,8–15,4 ton koldioxid mellan år 2025-2050.⁷⁹ Enligt en konservativ bedömning finns det en lagringskapacitet på 117 miljarder ton i Europa (mestadels EU-länder samt bl.a. Norge, dock inte Sverige).⁸⁰ I Naturvårdsverkets scenario där Sverige blir klimatneutralt år 2050 utan att köpa utsläppsrätter lagras 20 miljoner ton koldioxid per år.⁸¹ Det bedöms preliminärt finnas en lagringskapacitet på

⁷² IEA, 2014, s. 208

⁷³ Klefbom, 2015

⁷⁴ Corsten et al. 2013

⁷⁵ Eiken et al. 2010

⁷⁶ Gale & Davison, 2004

⁷⁷ IPCC, 2005, s. 246

⁷⁸ Dooley, 2013

⁷⁹ Odenberger et al. 2013

⁸⁰ Europeiska kommissionen, 2009, s. 19-21

⁸¹ Naturvårdsverket, 2012, s. 23-31

cirka 3,4 miljarder ton koldioxid eller mer i Sverige.⁸²

- **En höjning av koldioxidpriset i industrin får endast en marginell påverkan på slutpriset på en bil eller ett bostadshus.**
Om CCS infördes skulle priset på stål och cement höjas betydligt. Men slutpriset på en bil eller ett bostadshus skulle endast höjas marginellt.⁸³
- **CCS i Sverige handlar i första hand inte om fossilenergi.**
En av de största nackdelarna med CCS är att det kan leda till mer kolkraft och kolbrytning (se risker nedan). 98 procent av den svenska elförsörjningen kommer från koldioxidsnåla energikällor.⁸⁴ Det innebär att CCS i Sverige inte i första hand skulle ske från elproduktion med fossilenergi. De flesta punktutsläpp över 100 000 ton koldioxid per år är processutsläpp eller biogena utsläpp.⁸⁵
- **Norden kan bli en föregångsregion.** Kombinationen av stora biogena koldioxidutsläpp i Sverige och Finland, punktutsläpp från exempelvis stål- och cementindustrin, förekomsten av gas- och oljefält samt den stora lagringspotentialen utanför Norge och Danmark gör att Norden kan bli en föregångsregion.⁸⁶

Nackdelar

- **CCS ökar energianvändningen.**
Anledningen till att det krävs mer bränsletillförsel i ett CCS-kraftverk är att det krävs energi för koldioxidavskiljningen men även för komprimeringen av koldioxiden samt för pumpar och fläktar.⁸⁷ Enligt en metastudie krävs det 18,9-24,8 procent mer energi om ett kraftverk ska använda CCS, beroende på teknikval.⁸⁸
- **CCS från fossilenergi ökar kolbrytningen.**
Att CCS ökar energianvändningen gör att tekniken kan leda till mer kolbrytning. Kolbrytning bidrar bland annat till olyckor, påverkan på vattnet i närmiljön, luftföroreningar och avfall.⁸⁹
- **CCS kan låsa in samhället i fossilenergianvändning.**
Att bygga ut infrastruktur för CCS är kostsamt och tidskrävande. När investeringen väl är på plats har den en livslängd på flera decennier. Det och att CCS kan legitimera fossilenergi gör att det kan låsa in samhället i fossilenergianvändning och försvåra övergången till mer hållbara alternativ.⁹⁰

⁸² Møl Mortensen, 2014

⁸³ Rootzén, 2015

⁸⁴ Svensk Energi, 2015

⁸⁵ Nilsson, 2015

⁸⁶ Mazzetti et al. 2014

⁸⁷ Rubin et al. 2012

⁸⁸ Thorbjörnsson et al. 2014

⁸⁹ Bian et al. 2010

⁹⁰ Vergragt et al. 2011

- **All koldioxid infångas inte.**
IPCC⁹¹ bedömer att 90 procent av koldioxiden från en anläggning med CCS infångas. Energimyndighetens⁹² bedömning om CCS i Östersjöregionen bygger på ett antagande om att 80 procent av koldioxiden infångas. Ur ett livscykelperspektiv minskar CCS-tekniken klimatpåverkan från ett fossileldat kraftverk med 47-97 procent jämfört med om CCS-tekniken inte hade använts.⁹³ Detta trots att ett kraftverk med CCS-teknik kräver mer tillförsel av energi.
- **Den infångade koldioxiden kan användas till oljeutvinning.**
I elva av de 14 storskaliga CCS-projekt som finns idag så används koldioxiden till oljeutvinning enligt CO₂-EOR.⁹⁴ Tekniken skulle kunna bidra till inlåsning och fossilberoende.
- **Priset på koldioxid är för lågt för att CCS ska vara lönsamt.**
För utvecklingen av CCS är det viktigt att kostnaden och riskerna för fossilenergi utan CCS ökar genom regler eller ett pris på koldioxid.⁹⁵ I USA väntas CCS utvecklas vid ett koldioxidpris över 60 USD/ton CO₂.⁹⁶ År 2030 behöver koldioxidpriset i EU vara på 85 Euro/ton för att investeringar i CCS ska börja ske, men priset i EU bedöms bli 30 Euro/ton CO₂ år 2030. För att kolkraftverk med CCS ska bli den mest lönsamma typen av kraftverk i Kina bedöms koldioxidpriset behöva vara mellan 35-45 Euro.⁹⁷ Som jämförelse kan nämnas att i EU:s handel med utsläppsrätter är priset 9 USD/ton CO₂ samt att Sverige har en koldioxidskatt på 168 USD/ton CO₂.⁹⁸
- **Utvecklingen inom CCS har gått långsammare än förväntat.**
IEA påpekade 2009 att det globalt finns behov av 100 CCS-projekt mellan 2010-2020 som lagrar cirka 300 miljoner ton årligen.⁹⁹ Idag finns det 22 projekt som är i drift eller under konstruktion och sammantaget bedöms dessa lagra totalt 40 miljoner ton koldioxid per år.¹⁰⁰
- **Finns inget ekonomiskt incitament för bio-CCS.**
Koldioxid från förbränning av biomassa tillför ingen ny koldioxid till atmosfären och det behövs inga utsläppsrätter för koldioxidutsläpp från biomassa. Det gör att det saknas ekonomiska incitament i Europa för att lagra koldioxid från biomassa.^{101,102} Bristen på ekonomiska incitament för CCS i de branscher vars koldioxidutsläpp har biogena källor, exempelvis utsläpp från massa- och pappersindustrin, kan fördröja införandet av CCS för andra branscher i regionen. Enligt Energimyndigheten¹⁰³ gör detta att Östersjöregionen sannolikt inte kommer att leda utvecklingen inom CCS i Europa. Om

⁹¹ IPCC, 2014a, s. 538-541

⁹² Energimyndigheten, 2011b, s. 138

⁹³ Corsten et al. 2013

⁹⁴ Global CCS Institute

⁹⁵ IEA, 2015, s. 11

⁹⁶ Luckow et al. 2011

⁹⁷ Renner, 2014

⁹⁸ Ecofys, 2014, s.17

⁹⁹ IEA, 2013, s. 10

¹⁰⁰ Global CCS Institute

¹⁰¹ Energimyndigheten, 2011, s. 37-42

¹⁰² Nilsson, 2014, s. 39

¹⁰³ Energimyndigheten, 2011, s. 173-174

CCS ska införas till år 2035 i Östersjöregionen behöver ekonomiska incitament för CCS från biogena utsläpp införas i god tid innan för att ge industrierna chans att förbereda sig.

- **CCS-tekniker kan öka utsläppen av kväveoxider, ammoniak och svaveldioxid.**
Lösningsmedel som används för att fånga upp koldioxiden kan bidra till utsläpp av kväveoxider, ammoniak och svaveldioxid. Även om utsläppen av kväveoxider och svaveldioxid delvis fångas upp så blir nettoeffekten av CCS en ökning av utsläpp som skapar försurning och övergödning. I en del CCS-tekniker kan även utsläppen av ammoniak öka.¹⁰⁴ Enligt en annan studie reducerar dock CCS-tekniken svaveldioxidutsläpp.¹⁰⁵
- **Bioenergin som används i bio-CCS kan vara ohållbart producerad.**
Om biobränsle odlas på fel mark så kan det leda till ökade koldioxidutsläpp. När skogar och slätter eldas upp och omvandlas till jordbruksmark så frigörs koldioxid. De utsläppen av koldioxid kompenseras för genom att det odlade biobränslet ersätter fossila bränslen. Den tid det tar att spara lika mycket koldioxid som förlorades i samband med markomvandlingen kallas "carbon payback times". När odling av biobränsle sker på mark som tidigare var tropisk regnskog är "carbon payback time" 30-300 år beroende på bland annat val av gröda och hur produktionen har skett.¹⁰⁶
- **Höga koncentrationer av koldioxid är farligt för människor.**
En långvarig exponering för en koldioxidhalt på 3 procent kan leda till koncentration av kalcium i blodet vilket kan ha negativa effekter på människors hälsa. Vid hög koldioxidnivå så kan undanträngningen av syre leda till kvävning om syrehalten sjunker under 16 procent.¹⁰⁷ Ett exempel på att koldioxid kan vara farligt vid högre koncentrationer är naturkatastrofen 1986 i kratersjön Nyos i Kamerun. Ett landskred eller annan störning orsakade ett plötsligt utsläpp från sjön av koldioxid med vulkaniskt ursprung och 1700 personer dog.¹⁰⁸ Denna typ av utsläpp är dock inte representativt för det läckage som kan uppstå från CCS.¹⁰⁹
- **Koldioxid från läckage kan påverka grundvatten och växter.**
Grundvatten som kommer i kontakt med koldioxid blir surare och det kan i sin tur frigöra olika metaller som påverkar grundvattnets kvalitet.¹¹⁰ Det finns ett tydligt samband mellan koldioxidhalten och syrehalten i jord. En hög koldioxidhalt i jorden kan minska växternas tillväxt och läckage från koldioxidlagring kan vara dödligt för en del växter.¹¹¹
- **Viss risk för jordbävningar i samband med koldioxidlagring.**
Få mänskligt orsakade jordbävningar har observerats vid platser för koldioxidlagring. Men antalet platser är hittills få och den lagrade volymen liten. Risken för jordbävningar

¹⁰⁴ Corsten et al. 2013

¹⁰⁵ Koornneef et al. 2012

¹⁰⁶ Gibbs et al. 2008

¹⁰⁷ Rice, 2004

¹⁰⁸ Decker & Decker, 2015

¹⁰⁹ IPCC, 2005, s. 211

¹¹⁰ Wang, 2004

¹¹¹ Al-Trabouls et al. 2012

kopplat till koldioxidlagring är troligen liten, och riskerna kan minska genom noggrant urval av lagringsplatser och rätt hantering.¹¹²

- **Risk för att läckage av koldioxid leder till uppvärmning.**
För att klimatpåverkan inte ska bli större med CCS jämfört med scenarier med låga utsläpp utan CCS så bör inte mer än en procent av den lagrade koldioxiden läcka ut under 1000 år.¹¹³ Sannolikheten för att det ska ske bedömer IPCC som låg.¹¹⁴ Om 900 miljarder ton koldioxid lagras totalt och en procent av den lagrade koldioxiden skulle läcka ut årligen så skulle det leda till en temperaturökning på 0,4 grader.¹¹⁵
- **Risk att företag flyttar till länder med mindre stränga regler.**
Kostnaden för CCS gör att *“det finns en risk för att företag inom sektorer som är utsatta för hård internationell konkurrens flyttar sin verksamhet från EU till tredjeländer som har mindre strikta gränser för utsläpp av växthusgaser”*, om inte konkurrenter till EU gör motsvarande åtgärder.¹¹⁶
- **Acceptansproblem.**
Undersökningar med fokusgrupper visar att det generellt finns en *“signifikant oro relaterat till riskerna med koldioxidlagring”*.¹¹⁷

¹¹² Nicol et al. 2013

¹¹³ Shaffer, 2010

¹¹⁴ IPCC, 2005

¹¹⁵ Lenzen, 2010

¹¹⁶ Europeiska kommissionen, 2015b

¹¹⁷ Upham & Roberts, 2011

Referenser

All information från internetsidor hämtades 150929 om inte annat anges.

Al-Traboulsi, M., Sjögersten, S., Colls, J., Steven, M., Craigon, J. & Black, C. (2012). Potential impact of CO₂ leakage from carbon capture and storage (CCS) systems on growth and yield in spring field bean. *Environmental and experimental botany*, vol. 80, s. 43-53.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847212000469>

Arasto, A., Onarheim, K., Tsupari, E. & Kärki, K. (2014). Bio-CCS: Feasibility comparison of large scale carbon-negative solutions. *Energy Procedia*, vol. 63, s. 6756-6769.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214025260>

BBC (2015:a) *UK government carbon capture £1bn grant dropped* <http://www.bbc.com/news/uk-scotland-scotland-business-34357804> (Hämtad 151203)

BBC (2015:b) *Drax pulls out of £1bn carbon capture project.*

Tillgänglig: <http://www.drax.com/news/news-articles/2015/09/drax-announces-plan-to-end-further-investment-in-white-rose-carbon-capture-storage-project/>

Bian, Z., Inyang, H.I., Daniels, J.L., Otto, F. & Struthers, S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. *Mining Science and Technology (China)*, vol. 20, no. 2, s. 215-223.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674526409601873>

Corsten, M., Ramírez, A., Shen, L., Koornneef, J. & Faaij, A. (2013). Environmental impact assessment of CCS chains – Lessons learned and limitations from LCA literature. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 13, s. 59-71.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583612003143>

Cuéllar-Franca, R-M & Azapagic, A. (2015). Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 9, s. 82-102.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212982014000626>

Decker, RW & Decker BB. (2015). Volcano. I: *Encyclopedia Britannica Academic Edition*. Tillgänglig:

<http://academic.eb.com.ezproxy.its.uu.se/EBchecked/topic/632130/volcano/253594/Gas-clouds?anchor=ref884106>

Dept of Energy & Climate Change (2015). *HM Government Statement to Markets Regarding Carbon Capture and Storage Competition*. Tillgänglig: <http://www.londonstockexchange.com/exchange/news/market-news/market-news-detail/12597443.html> (Hämtad 151203)

Dooley, J.J. (2013). Estimating the Supply and Demand for Deep Geologic CO₂ Storage Capacity over the Course of the 21st Century: A Meta-analysis of the Literature. *Energy Procedia*, vol. 37, s. 5141-5150.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213006723>

Drax. (2015). *Drax announces plan to end further investment in White Rose Carbon Capture & Storage project.*

Tillgänglig: <http://www.drax.com/news/news-articles/2015/09/drax-announces-plan-to-end-further-investment-in-white-rose-carbon-capture-storage-project/> (150925).

Ecofys; World Bank. (2014). *State and trends of carbon pricing 2014*. Washington, DC. World Bank Group.

Tillgänglig: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/05/19572833/state-trends-carbon-pricing-2014>

Eiken,O., Ringrose,P., Hermanrud,C., Nazarian,B., Torp,TA & Høier,L. (2011). Lessons learned from 14 years of CCS operations: Sleipner, In Salah and Snøhvit. *Energy Procedia*. vol .4, 2011, s. 5541-5548.
Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211008204>

Energimyndigheten.(2011). *Systemstudie av möjligheter att etablera en infrastruktur för CCS i Östersjöregionen*. Eskilstuna. ER 2010:36.
Tillgänglig: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=2535>

Erlström, M., Fredriksson, D., Juhojuntti, N., Sivhed, U & Wickström, L. (2011). *Lagring av koldioxid i berggrunden – krav, förutsättningar och möjligheter*. Uppsala. Sveriges Geologiska Undersökning. (Rapporter och meddelanden, 131).
Tillgänglig: <http://resource.sgu.se/produkter/rm/rm131-rapport.pdf>

Europeiska kommissionen. (2009a). *EU GeoCapacity Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide*. Bryssel.
Tillgänglig: http://ec.europa.eu/clima/events/docs/0028/geocapacity_en.pdf

Europeiska kommissionen (2009). Europeiska kommissionen. (2011a). *Energifärdplan för 2050*. Bryssel.
Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011DC0885&from=EN9L0031&from=sv>

Europeiska kommissionen. (2011a). *Energifärdplan för 2050*. Bryssel.
Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011DC0885&from=EN>

Europeiska kommissionen. (2011b). *Färdplan för ett konkurrenskraftigt utsläppsnålt samhälle 2050*. Bryssel.
Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:SV:PDF>

Europeiska Kommissionen. (2013). *MEDDELANDE FRÅN KOMMISSIONEN TILL EUROPAPARLAMENTET, RÅDET, EUROPEISKA EKONOMISKA OCH SOCIALA KOMMITTÉN OCH REGIONKOMMITTÉN om Framtiden för avskiljning och lagring av koldioxid i Europa /* COM/2013/0180 final */*. Bryssel.
Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52013DC0180&from=EN>

Europeiska kommissionen. (2015a). *Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation*. Bryssel
Tillgänglig: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v8_0.pdf

Europeiska kommissionen. (2015b). *Utsläppshandel: Medlemsstaterna godkänner en förteckning över sektorer som anses löpa risk för koldioxidläckage*.
Tillgänglig: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-09-1338_sv.htm Uppdaterad 150728

Gale, J. & Davison, J. (2004). Transmission of CO₂—safety and economic considerations. *Energy*, vol. 29, no. 9-10, s. 1319-1328.
Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204001744>

Gibbs, H.K., Johnston, M., Foley, J.A., Holloway, T., Monfreda, C., Ramankutty, N. & Zaks, D. (2008). Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters*, vol. 3, no. 3. Tillgänglig: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/3/3/034001>

Global CCS Institute. (2015). *Large Scale CCS Projects*.
Tillgänglig: <http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>

Gode J, Sarnholm E, Zetterberg L, Arnell J & Zetterberg T. (2010). *Swedish long-term low carbon scenario [IVL report B1955]*. Swedish Environmental Research Institute (IVL). Tillgänglig: <http://www.ivl.se/webdav/files/B-rapporter/B1955.pdf>

Ha-Duong, M & Loisel ,M. (2013). Actuarial Assessment of Fatalities Attributable to CCS in 2050. *Energy*

Procedia, vol. 37, s. 7526-7536.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213009399>

Hovorka, S.D. (2015) *EOR as Sequestration—Geoscience Perspective*.

Tillgänglig: <https://mitei.mit.edu/system/files/hovorka.pdf>

IEA (2013). *Technology Roadmap Carbon Capture and Storage*. Tillgänglig:

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technologyroadmapcarboncaptureandstorage.pdf>

IEA. (2014). *World Energy Outlook 2014*. Paris.

Tillgänglig: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2014/>

IPCC. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York och Cambridge: Cambridge University Press.

Tillgänglig: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge och New York.

Tillgänglig: <http://mitigation2014.org/report/publication/>

IPCC. (2014b). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva.

Tillgänglig: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

Kemp, J. (2014). *Carbon capture's energy penalty problem: Kemp*.

Tillgänglig: <http://www.reuters.com/article/2014/10/07/us-carboncapture-economics-kemp-idUSKCN0HW0TZ20141007> Uppdaterad 20141007

Klefbom, E. (2015). "Miljöorganisationer har tänkt fel om ccs". *Miljöaktuellt*.

Tillgänglig: <http://miljoaktuellt.idg.se/2.1845/1.611235/miljoorganisationer-har-tankt-fel-om-ccs>

Uppdaterad 150225.

Koornneef, J., Ramírez, A., Turkenburg, W, & Faaij, A. (2012). The environmental impact and risk assessment of CO₂ capture, transport and storage—An evaluation of the knowledge base. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.38, s. 62–86.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128511000402>

Lenzen, M. (2010). Global warming effect of leakage from CO₂ storage. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.

Tillgänglig: http://www.isa.org.usyd.edu.au/publications/ISA_CCSleakage.pdf

Luckow, P., Wise, M.A & Dooley, J.J. (2011). Deployment of CCS Technologies across the Load Curve for a Competitive Electricity Market as a Function of CO₂ Emissions Permit Prices. *Energy Procedia*, vol. 4, 2011, s. 5762-5769.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211008514>

Mazzetti, M.J., Eldrup, N.H. Anthonsen, K.L., Haugen, H.A., Onarheim, K., Bergmo, P., Kjarstad, J., Johnson, F., Stigson, P., Gislason, SR & Røkke, NA. (2014). NORDICCS CCS Roadmap. *Energy Procedia*, vol. 51, s. 1-13,

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214008637>

Mining Journal. (2015). *BHPB, SaskPower join to promote CCS tech*.

Tillgänglig: <http://www.mining-journal.com/technology/general-technology/bhpb-saskpower-join-to-promote-ccs-tech/> (20150911).

MIT. (2015a). *Boundary Dam Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project*. Tillgänglig:

http://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary_dam.html (20150622).

MIT. (2015b). *E.ON Karlshamn Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage project*. Tillgänglig:

http://sequestration.mit.edu/tools/projects/eon_karlshamn.html (20150105).

MIT Technology Review. (2015). *A Coal Plant That Buries Its Greenhouse Gases*. Tillgänglig: <http://www.technologyreview.com/demo/533351/a-coal-plant-that-buries-its-greenhouse-gases/>

Murray. (2015). *CCS setback as Drax says it will not invest further in White Rose project*. Tillgänglig: <http://www.businessgreen.com/bg/news/2427562/ccs-setback-as-drax-says-it-will-not-invest-further-in-white-rose-project> (2015-09-25).

Möl Mortensen. (2014). *CO2 storage atlas for Sweden a contribution to the Nordic Competence Center for CCS, NORDICCS*. Tillgänglig: http://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/nordiccs/d-6.1.7.1407-1-co2-storage-atlas-for-sweden--a-contribution-to-the-nordic-competence-centre-for-ccs-nordiccs_web.pdf

Naturvårdsverket. (2012). *Underlag till en färdplan för ett Sverige utan klimatutsläpp 2050*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/6500/978-91-620-6537-9/>

National Energy Technology Laboratory (2014). *Archer Daniels Midland Company: CO2 Capture from Biofuels Production and Storage into the Mt. Simon Sandstone*. Tillgänglig: <http://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Coal/major%20demonstrations/iccus/ARRA1547.pdf> (2014-11)

Nicol, A., Gerstenberger, M., Bromley, C., Carne, R., Chardot, L., Ellis, S., Jenkins, C., Siggins, T & Viskovic, P. (2013). Induced Seismicity; Observations, Risks and Mitigation Measures at CO2 Storage Sites. *Energy Procedia*, vol. 37, 2013, s. 4749-4756. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213006279>

Nilsson, P-A. (2014). *CCS in the Baltic Sea region – Bastor 2. Final Summary Report*. Stockholm. Elforsk. (Elforsk Rapport 14:50). Tillgänglig: http://www.elforsk.se/Programomraden/El--Varme/Rapporter/?rid=14_50

Nilsson, P-A. (2015). *Processindustrin och nollvisionen*. Energiforsk. Tillgänglig: http://www.energiforsk.se/SiteAssets/Agenda%20processindustrin_webb.pdf

Odenberger, M., Kjærstad, J & Johnsson, F. (2013). Prospects for CCS in the EU Energy Roadmap to 2050. *Energy Procedia*, vol. 37, s. 7573-7581. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213009442>

Orkuveita Reykjavíkur. (2015) *CarbFix*. Tillgänglig: <https://www.or.is/en/projects/carbfix> (2015-06-11)

Power Technology. *SaskPower Boundary Dam and Integrated CCS, Canada*. Tillgänglig: <http://www.power-technology.com/projects/sask-power-boundary/>

Pultarova, T. (2015). *CO2 capture plant to enhance vegetable growth in Switzerland*. Engineering and Technology Magazine. Tillgänglig: <http://eandt.theiet.org/news/2015/oct/carbon-capture-plant.cfm> (Hämtad 151203)

Rackley, Stephen A. (2010). *Carbon Capture and Storage*. Elsevier. Tillgänglig: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpCCS00001/viewerType:toc/root_slug:carbon-capture-and

Regeringen. (2008). *En sammanhållen klimat och energipolitik*. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/contentassets/cf41d449d2a047049d7a34f0e23539ee/en-sammanhallen-klimat--och-energipolitik--klimat-prop.-200809162>

- Regeringskansliet. (2015a). *Mål för klimat och luft*. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/regeringens-politik/miljo/klimat-och-luft/mal-for-klimat-och-luft/> (2015-07-08).
- Regeringskansliet. (2015b). *Uppdrag om ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige*. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/artiklar/2015/04/uppdrag-om-ett-klimatpolitiskt-ramverk-for-sverige/> (2015-04-29).
- Renner, M. (2014). Carbon prices and CCS investment: A comparative study between the European Union and China. *Energy Policy*, vol. 75, s. 327-340. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514005448>
- Rice, S.A. (2004). *Human health risk assesment of CO2: survivors of acute high-level exposure and population sensitive to prolonged low level exposure*. National Energy Technology Laboratory. Tillgänglig: <https://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/04/carbon-seq/169.pdf>
- Riksdagen. (2016). *Nollutsläpp i svensk basindustri*. Tillgänglig: http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Fragor-och-anmalningar/Svar-pa-skriftliga-fragor/Nollutslapp-i-svensk-basindust_H312512/ (150104)
- Rootzén, J. (2015) *Pathways to deep decarbonisation of carbon-intensive industry in the European Union - Techno-economic assessments of key technologies and measures*. Göteborg : Chalmers University of Technology (Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie, nr: 3907).
- Rubin, E.S., Mantripragada, H., Marks, A., Versteeg, P. & Kitchin, J. (2012). The outlook for improved carbon capture technology. *Progress in Energy and Combustion Science*. vol. 38, no. 5, s. 630. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128512000184>
- Shaffer, G. (2010). Long-term effectiveness and consequences of carbon dioxide sequestration. *Nature Geoscience*, vol. 3, no. 7, s. 464-467. Tillgänglig: <http://www.nature.com.ezproxy.its.uu.se/ngeo/journal/v3/n7/full/ngeo896.html>
- Smit, B., Reimer, J.A., Oldenburg, C.M. & Bourg, I.C. (2014), *Introduction to carbon capture and sequestration*. London. Imperial College Press. Tillgänglig: <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p911>
- Styring, P & Jansen, D. (2011). *Carbon Capture and Utilisation in the green economy*. Center for low carbon futures. Tillgänglig: http://www.policyinnovations.org/ideas/policy_library/data/01612/_res/id=sa_File1/CCU.pdf
- Shell. (2015), *PETERHEAD CCS PROJECT* Tillgänglig: <http://www.shell.co.uk/energy-and-innovation/the-energy-future/peterhead-ccs-project.html> (Hämtad 151203)
- Svensk Energi (2015). *Elproduktion med goda klimatvärden*. Tillgänglig: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elproduktion/> (2015-06-09)
- Thorbjörnsson, A., Wachtmeister, H., Wang, J. & Höök, M. (2014). Carbon capture and coal consumption: Implications of energy penalties and large scale deployment. *Energy Strategy Reviews*, vol. 7, s. 18-28. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X14000716>
- UNFCCC. (2010). *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010*. Tillgänglig: <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>

Upham, P. & Roberts, T. (2011). Public perceptions of CCS: Emergent themes in pan-European focus groups and implications for communications. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 5, no. 5, s. 1359-1367.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583611001149>

Vergragt, P.J., Markusson, N & Karlsson, H. (2011). Carbon capture and storage, bio-energy with carbon capture and storage, and the escape from the fossil-fuel lock-in. *Global Environmental Change*, vol. 21, s. 282-292.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378011000215>

Vidal, O., Goffé, B. & Arndt, N. (2013). Metals for a low-carbon society. *Nature Geoscience*, 6(11), s.894–896.

Tillgänglig: <http://www.nature.com/ngео/journal/v6/n11/full/ngео1993.html>

Wang, S. (2004). Dissolution of a mineral phase in potable aquifers due to CO₂ releases from deep formations; effect of dissolution kinetics. *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 18-19, s. 2833-2848.

Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890404000226>

White Rose. (2015). *White Rose*.

Tillgänglig: <http://www.whiteroseccs.co.uk/> (20150925).

Zettersten, P. (2011). Vattenfall skrotar planerna på demonstrationsanläggning för CCS. *Sveriges Radio*.

Tillgänglig: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=3345&artikel=4844638> (2011-12-07).

Åhman M., Lars J Nilsson., & Andersson, FNG. (2013). *Industrins utveckling mot netto-nollutsläpp 2050 - Policy slutsatser och första steg*. Lund Universitet. Rapport nr 88. Tillgänglig:

[http://miljo.lth.se/fileadmin/miljo/Industrin mot nettonollutslaep 2050 IMES rapport 88.pdf](http://miljo.lth.se/fileadmin/miljo/Industrin_mot_nettonollutslaep_2050_IMES_rapport_88.pdf)



Om Fores

Fores är en tankesmedja som vill förändra. Globalisering och klimatförändring innebär utmaningar som kräver nya sätt att se på samhället. Fores ger debatten nya perspektiv, frimodiga idéer och positiv energi.

Vi bygger nätverk av samhällsintresserade och experter. Tillsammans kan vi ta fram tydliga och konkreta förslag på lösningar för en hållbar framtid.

www.fores.se brev@fores.se Bellmansgatan 10, 118 20 Stockholm

FORES – FORUM FÖR REFORMER OCH ENTREPRENÖRSKAP

Världens länder är överens om att ökningen av den globala medeltemperaturen ska vara under två grader jämfört med innan industrialiseringen. Men för att klara detta krävs stora insatser.

Carbon Capture and Storage (CCS) är en omdebatterad teknik som innebär att koldioxid fångas upp, avskiljs och lagras. Med CCS finns potential för kraftigt minskade nettoutsläpp av koldioxid och vid förbränning av biomassa kan utsläppen till och med bli negativa. Räddning menar vissa, medan andra pekar på att tekniken riskerar att leda till fossilberoende.

Den här bakgrundsrapporten är skriven av Elias Rosell och är baserad på aktuell forskning på ämnet. Texten beskriver hur tekniken fungerar, vilka pågående projekt som finns i dagsläget samt teknikens för- och nackdelar. Rapporten visar att CCS-tekniken är mogen för storskalig introduktion men också att de anläggningar som planeras inte på långa vägar räcker för att göra ett rejält klimatavtryck. Framtiden för CCS är oviss men ett är säkert, det är dags att ta hand om koldioxiden!