

Delrapport 1

Carbon Capture and Storage (CCS)

Ellen Grantinger

Innehållsförteckning

1.	CCS – koldioxidavskiljning och lagring	1
2.	Tekniker för koldioxidavskiljning.....	1
3.	Lagring av koldioxid	2
4.	Metoder vid koldioxidavskiljning	3
5.	Biogas och koldioxidlagring	4
	Referenser	5

1. CCS – koldioxidavskiljning och lagring

Övergången till ett fossilfritt energisystem kräver flera åtgärder som syftar till att minska förekommandet av utsläpp till atmosfären men även genom att nyttja tekniker för att aktivt avlägsna befintlig koldioxid från atmosfären. En sådan teknik som används för avskiljning och lagring av koldioxid är CCS, Carbon Capture and Storage. CCS innebär att koldioxid fångas in från punktkällor med höga utsläpp, såsom förbränningsanläggningar och industrier med energiintensiva processer (Sveriges geologiska undersökning 2023).

2. Tekniker för koldioxidavskiljning

Avskiljning av koldioxiden från rökgaserna eller industriella gasströmmar vid nyttjande av CCS kan främst ske på tre sätt. De vanligaste teknikerna är antingen genom absorption, adsorption eller membranseparation (Czarnota et al. 2019). Även andra tekniker som till exempel kryogenisk destillering och chemical looping kan användas. Absorption och adsorption är cykliska processer som separerar genom att koldioxiden binds vid ett annat ämne. Absorption är en kontinuerlig process där absorbenten först tar upp koldioxiden ur gasströmmen

genom att koldioxiden tillfälligt binds till ett flytande medium, till exempel vatten eller aminer. Därefter regenereras absorbenten vid upphettning vilket frigör koldioxiden som kan avgå för att komprimeras och transporteras för lagring. Slutligen kan absorbenten, nu utan koldioxid bundet, återföras till rökgaserna och processen börjar därefter om (Czarnota et al. 2019). Absorption är en anpassningsbar och mångsidig avskiljningsteknik som lämpar sig till olika processer. Denna teknik medför en mycket specifik separation som är effektiv vid avskiljning av koldioxid från en gasblandning, även vid låga förekomster av CO₂-koncentrationer. Processen är dock energikrävande och kan orsaka nedbrytning samt rost (Khan et al. 2023).

Vid adsorption binds koldioxiden till ett fast ämnen, exempelvis zeoliter (vattenhaltiga, kristallina aluminiumsilikater), aktivt kol eller metalloxider (Thomasson u.å.). Adsorbenten tar upp koldioxid ur gasströmmen för att därefter regenereras. Genom tryck- eller temperaturväxling frigörs den bundna koldioxiden som sedan kan avgå separat från resterande gasström (Czarnota et al. 2019). Adsorption är en teknik som kan producera en högkvalitativ koldioxid samt kräver mindre värme och lägre temperaturer vid regenerering. Det gör teknik fördelaktig att nyttja vid intermittenta eller mindre gasflöden. Nackdelarna med adsorption är det till viss del krävs ytterligare forskning för att effektivisera användandet av adsorbenter samt att materialkostnaderna är högre (Khan et al. 2023).

Membranseparation använder selektiva, halvgenomsläppliga membran för att separera koldioxid från gasströmmen. Membranet fungerar som en barriär för gasmolekylerna och separationen utnyttjar skillnader i permeabilitet eller löslighet hos de olika gaserna. Tekniken tillåter vissa gaser att passera snabbare än andra beroende på tryck och koncentrationsgradient. Membranet kan utformas på så sätt att enbart koldioxid passerar igenom och separeras då från resterande gasmolekyler (Czarnota et al. 2019). Tekniken medför möjlighet till modulär uppskalning genom att använda flera membran i följd och har en kompakt design. Jämfört med absorption och adsorption är membranseparation mindre energikrävande då ingen termisk energi krävs. Dock är membran inte lika effektiva vid lägre koncentrationer av koldioxid samt har en begränsad selektivitet (Khan et al. 2023).

3. Lagring av koldioxid

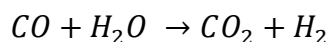
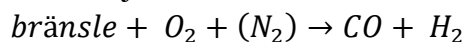
Efter avskiljningen trycksätts koldioxiden från gas till vätskeform för att möjliggöra effektiv transport, och därefter förs den till en lämplig plats för långsiktig lagring i berggrunden. För att lagringen ska vara säker och stabil över

tid krävs specifika geologiska förhållanden. I Sverige är det Sveriges geologiska undersökning (SGU) som ansvarar för att utreda och verkställa eventuella platser som kan vara aktuella för lagring av koldioxid. Myndigheten beskriver flera centrala krav gällande de geologiska förutsättningarna (Sveriges geologiska undersökning 2023). Initialt krävs en sedimentär berggrund, ofta en salin akvifer med porös och genomsläpplig karaktär, för lagring av koldioxid. Den totala mäktigheten av sanddelen behöver nödvändigtvis vara minst 20 meter. Koldioxiden måste dessutom injiceras på ett djup av minst 800 meter i en reservoarbergart, det vill säga en genomsläpplig bergart med möjlighet att lagra gasen i dess porer, till exempel sandsten (Sveriges geologiska undersökning u.å.). Vidare krävs även en tät överliggande bergart (takbergart) ovanför reservoaren, såsom skiffer eller lersten, som kan fungera som ett naturligt ”tak” och förhindrar att koldioxiden migrerar upp till markytan (Sveriges geologiska undersökning 2023).

Preliminära geologiska analyser har identifierat två havsområden i Sverige, ett beläget i sydöstra Östersjön och ett intill sydvästra Skåne, med förutsättningar som gör dem potentiellt lämpliga för geologisk lagring av koldioxid (Sveriges geologiska undersökning 2023).

4. Metoder vid koldioxidavskiljning

Det finns flera metoder för avskiljning av koldioxid, med varierande tillvägagångssätt och lämplighet beroende på process samt koncentration av CO₂ i rökgasen. De vanligaste metoderna är post-combustion capture, pre-combustion capture, oxyfuel combustion och direct air capture (Czarnota et al. 2019). Pre-combustion är en metod för koldioxidavskiljning innan förbränning, det vill säga innan energiinnehållet i bränslet används. Bränslet förgasas vid närvaro av syre och vattenånga vilket producerar ”syngas” eller syntesgas – en gas bestående av kolmonoxid (CO) och vätgas (H₂). Därefter konverteras syngasen till koldioxid och vätgas varpå koldioxiden kan separeras innan förbränning. Den stegvisa processen kan beskrivas med följande två reaktioner som sker efter varandra:



Pre-combustion capture ger ett mer högkoncentrerat bränsle och en effektivare energianvändning (Podder et al. 2023). Då tekniken är nyare är den även mindre beprövad och därmed också dyrare.

Vid post-combustion capture avskiljs koldioxiden från rökgaserna efter förbränning, det vill säga efter att energin i bränslet har utvunnits. I praktiken kan det ses som ett extra reningssteg av rökgaserna. Även ytterligare rening av andra förbränningsprodukter så som kväveoxider och svaveloxider krävs för att inte orsaka skador på anläggningen. En fördel med att använda post-combustion capture är att metoden är enkelt att efterkonvertera på befintliga anläggningar. Metoden är dock energikrävande vilket minskar anläggningens totala effektivitet. Vid stora volymer att rena blir metoden dyrare eftersom anläggningen då kostar energi, material och byggnation (Podder et al. 2023).

Oxyfuel combustion är en metod som i stället för luft använder ren syrgas. Det medför att kvävgaser renas bort innan förbränningen och inte efter som det görs i andra metoder. Den resulterande gasströmmen efter infångningen består då främst av koldioxid samt vattenånga, vilket förenklar separationen. Metoden ger en lägre bränsleåtgång samt högre förbränningstemperaturer. De högre förbränningstemperaturerna ställer högre krav på använt material men resulterar i en minskad mängd rökgaser samt lägre utsläpp av kväveoxider (Podder et al. 2023).

5. Biogas och koldioxidlagring

När biogas reformeras till vätgas är det möjligt att fånga upp den frigjorda mängden koldioxid (CO_2) och lagra den med hjälp av CCS-teknik. Det innebär att negativa utsläpp kan uppnås (European Biogas Association u.å.).

Då biogas utvinns ur biomassa, som i sin tur har absorberat koldioxid från atmosfären genom fotosyntes under sin tillväxtfas, betraktas den mängd koldioxid som frigörs vid förbränning eller reformering av biogas som en del av det biogena kolkretsloppet. Biogen koldioxid definieras som koldioxid med ursprung i organiskt material från nyligen levande organismer (Naturskyddsföreningen u.å.). Till skillnad från fossil koldioxid, som frigör kol som varit geologiskt bundet i miljontals år, ingår biogen koldioxid i det naturliga kretsloppet mellan växtlighet och atmosfär – där kolet tas upp genom fotosyntes och återförs genom nedbrytning eller förbränning inom en tidsram på år till decennier (Cherubini et al. 2011). Det här innebär att nettotillskottet av koldioxid till atmosfären från biogasprocesser generellt är mycket litet, förutsatt att biomassan återbildas på ett hållbart sätt.

Vid implementering av effektiv koldioxidavskiljning (CCS) i samband med reformering av biogas till vätgas, kan processen i praktiken ses som nära koldioxidnegativ. Det beror på att den biogena koldioxiden, som annars skulle ha

återförts till atmosfären, i stället permanent avlägsnas genom geologisk lagring. En sådan process bidrar därmed till att minska utsläppen av växthusgaser, vilket är fördelaktigt ur ett klimatperspektiv (Lee 2023).

I kombination med biogasbaserad vätgasproduktion genom ångreforming uppstår en möjlighet att inte bara minska utan också potentiellt nettoavlägsna koldioxid från atmosfären. Vid reformeringsprocessen uppnås en koncentrad gasström av koldioxid vilket gör CCS-tekniken särskilt attraktiv i sammanhang där biogen koldioxid kan fångas och lagras. Vid avskiljning av koldioxid med biogen härkomst benämns tekniken som Bio-CCS eller BECCS (Bio Energy CCS) (Naturvårdsverket 2024). Reformeringen innebär att vid höga temperaturer reagerar metan (CH_4) i biogasen med vattenånga (H_2O) vilket producerar vätgas (H_2) och koldioxid (CO_2). Den frigjorda koldioxiden kan därefter separeras för permanent lagring, förutsatt att lämplig CCS-teknik finns på plats (Lee 2023).

Denna kombination av biogasreforming och CCS ger därmed inte bara ett fossilfritt alternativ till vätgasproduktion, utan även ett verktyg för att uppnå klimatmål som kräver att redan utsläppt koldioxid avskiljs från atmosfären (Rosa & Mazzotti 2022). Trots den stora klimatpotentialen återstår flera utmaningar för implementering i praktiken. Dessa inkluderar höga investeringskostnader, behov av anpassad infrastruktur för transport och lagring av koldioxid samt osäkerhet kring ekonomiska incitament. För jordbruk med egen biogasproduktion skulle implementering av CCS kunna utgöra en möjlighet att bidra till negativa utsläpp. Det förutsätter både teknisk anpassning och stödjande styrmedel för att vara ekonomiskt genomförbart (Fridahl & Lehtveer 2018).

Referenser

- Cherubini, F., Peters, G.P., Berntsen, T., Strømman, A.H. & Hertwich, E. (2011). CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *GCB Bioenergy*, 3 (5), 413–426. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x>
- Czarnota, R., Knapik, E., Wojnarowski, P., Janiga, D. & Stopa, J. (2019). Carbon Dioxide Separation Technologies. *Archives of Mining Sciences*, 487–498. <https://doi.org/10.24425/ams.2019.129364>
- European Biogas Association (u.å.). Decarbonising Europe's hydrogen production with biohydrogen | European Biogas Association. <https://www.europeanbiogas.eu/decarbonising-europes-hydrogen-production-with-biohydrogen/> [2025-04-07]

- Fridahl, M. & Lehtveer, M. (2018). Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Global potential, investment preferences, and deployment barriers. *Energy Research & Social Science*, 42, 155–165.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.03.019>
- Khan, U., Ogbaga, C.C., Abiodun, O.-A.O., Adeleke, A.A., Ikubanni, P.P., Okoye, P.U. & Okolie, J.A. (2023). Assessing absorption-based CO₂ capture: Research progress and techno-economic assessment overview. *Carbon Capture Science & Technology*, 8, 100125.
<https://doi.org/10.1016/j.ccst.2023.100125>
- Lee, K. (2023). *The Potential Role of Biohydrogen in Creating a Net-Zero World*. Center on Global Energy Policy at Columbia University SIPA | CGEP.
<https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/the-potential-role-of-biohydrogen-in-creating-a-net-zero-world/> [2025-04-09]
- Naturskyddsföreningen (u.å.). *Biogena koldioxidutsläpp och klimatpåverkan*. Naturskyddsföreningen.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-skogen/biogena-koldioxidutslapp-och-klimatpaverkan/> [2025-04-07]
- Naturvårdsverket (2024). *Avskiljning och lagring av koldioxid (CCS)*. Naturvårdsverket.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/avskiljning-och-lagring-av-koldioxid-ccs/> [2025-04-08]
- Podder, J., Patra, B.R., Pattnaik, F., Nanda, S. & Dalai, A.K. (2023). A Review of Carbon Capture and Valorization Technologies. *Energies*, 16 (6), 2589.
<https://doi.org/10.3390/en16062589>
- Rosa, L. & Mazzotti, M. (2022). Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112123.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112123>
- Sveriges geologiska undersökning (2023). *CCS – Koldioxidlagring*. Sveriges geologiska undersökning. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/ccs-koldioxidlagring/> [2025-04-08]
- Sveriges geologiska undersökning (u.å.). *Teknik för CCS – koldioxidlagring*. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/ccs-koldioxidlagring/ccs-tekniken/> [2025-04-08]
- Thomasson, R. (u.å.). *zeoliter - Uppslagsverk - NE.se*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/zeoliter> [2025-04-08]