

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

Bio Energy Carbon Capture and Storage: möjligheter och potential i Stockholm



TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

1. Introduktion

I och med COP21 mötet och det efterföljande Parisavtalet, undertecknade 195 länder i konsensus att höjningen av global medeltemperaturer skulle begränsas till väl under 2°C med en ambition att klara 1.5°C.

Vid analyser av utrymmet att släppa ut koldioxid (CO₂) är en vanlig liknelse kvarvarande budget, dvs hur mycket till CO₂ som kan släppas ut samtidigt som målet om begränsad global uppvärmning nås. Då kvarvarande utsläppsbudget är begränsad innehåller en majoritet av de scenarion som klarar målen efter Parisavtalet så kallade negativa utsläpp. Med detta syftas på att koldioxidbudgeten kommer överskridas varvid åtgärder som aktivt minskar koncentrationerna av CO₂ i atmosfären blir nödvändiga.

Det finns olika sätt att minska koncentrationerna av CO₂ i atmosfären. En av de mer kända är trädplantering, då växande träd genom fotosyntesen omvandlar CO₂ till syre samtidigt som kol binds i biomassan. En ytterliggare möjlighet som skapas genom fotosyntesen är så kallad BECCS eller bio energy carbon capture and storage. Grundidén är att vid användning av biomassan fånga in CO₂ och binda den i jorden samtidigt som det görs plats för nya träd. På så vis kan koncentrationen av CO₂ i atmosfären aktivt minskas.

Runt om i världen pågår flera projekt kring BECCS och bland annat i Norge planeras för piloter och demonstrationsprojekt under 20-talet. Denna rapport redogör för potentialen för BECCS från energiproduktion i Stockholmsregionen.

Rapporten är en populärvetenskaplig sammanfattning som i stora delar bygger på arbete utfört av Linus Linde (idag på konsultfirman 2050) och Fortum Värme, inom ramen för Linus examensarbete. Detta examensarbete genomfördes vid Fortum Värme och KTH och handledes av författaren till denna rapport, samt Semida Silveria vid KTH. Fortums analytiker har aktivt deltagit vid beräkningar utav kostnaden för avskiljning, samt mängd CO₂ som går att avskilja. Stor hjälp erhöles från Chalmers tekniska högskola som har kommit långt i forskningen kring olika BECCS teknologier, lagring och transport. Examensarbetet är bifogat som bilaga till denna sammanfattning. Flertalet beräkningar har sedan examensarbetet uppdaterats. De uppdaterade siffrorna redovisas i denna rapport.

2. Bakgrund

BECCS består av tre huvudsakliga steg. Det första är avskiljning av CO₂ från en biobaserad process. Exempel på processer inkluderar kraftvärmeverk, pappersbruk och bio-raffinaderier, där kraftvärmeverk är mest relevant för kontexten i Stockholm. Det andra steget är transport och det tredje steget är lagring i passande geologiska formationer. Erfarenheterna är globalt i motsatt ordning där stora erfarenhet finns inom lagring och transport, men mindre erfarenhet inom avskiljningen.

2.1 Geologisk lagring av koldioxid

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

Lagringen av CO₂ vid BECCS är liknande den som används vid traditionell CCS (carbon capture and storage). Förenklat baseras tekniken på att CO₂ pumpas ned i bergsformationer på flera tusen meters djup. Det finns mycket erfarenheter inom detta område globalt där intresset för lagring av fossil CO₂ är stort. Teknologin har bitvis dåligt rykte, då flertalet projekt idag bygger på att CO₂ pumpas ned för att utvinna mer fossila bränslen. Fossil CCS har även kritiserats för att cementera beroendet av ändliga resurser som fossila bränslen. Detta är dock inte fallet med BECCS och organisationer som Naturvårdsverket har framhållit betydelsen av tekniken.

Norge är ett av föregångsländerna och har sedan 1992 avskilt och lagrat CO₂ utanför deras kust. Norge har även projekt som inte syftar till att utvinna mer fossila bränslen, utan lagringen av CO₂ sker just med syftet att lagra denna. Ett exempel är Sleipner CO₂ Storage Project. Projektet startade år 1992 som världens första kommersiella CCS projekt och ca 900 kton CO₂ avkiljs per år och lagras i en salin formation ca 1 km under havsbotten i utsirafältet utanför Norges kust. Anledningen till avskiljningen är den relativt höga koncentrationen av CO₂ i norsk naturgas. För att undvika att belastas av CO₂ skatt vid purifiering av naturgasen visade det sig kommersiellt att istället avskilja och lagra denna. Totalt har över 15 miljoner ton CO₂ avskiljts och lagrats sedan projektet startade och enligt en rapport från MIT har inga leakage av CO₂ kunnat påvisas. Projektet drivs av Statoil och har rönt stor internationell uppmärksamhet.

Statoil är även inblandat i andra projekt med dedikerad lagring av CO₂. I Berents hav driver Statoil med flera aktörer sedan år 2008 ett projekt vid namn Snøhvit. Målet är att avskilja och lagra 700 kton CO₂ per år i en sandstensformation.

Internationellt finns många fler projekt som demonstrerar geologisk lagring av CO₂. Däremot i Sverige saknas storskaliga försök. Troligtvis (enligt underteknads gissning) beror detta på en kombination av relativt lågt intresse då CCS tidigare framförallt fokuserat på lagring av fossila utsläpp och en generellt större avsaknad av lämpliga berggrunder ur lagringssynpunkt. Det finns däremot kända geologiska formationer i Östersjön som skulle kunna lämpa sig för lagring av CO₂. Dessa är dock mindre än de kända bergsformationerna utanför Norges kust.

2.2 Avskiljningstekniker

Tekniker för att avskilja CO₂ från rökgaser går att dela upp i två huvudsakliga kategorier, så kallad "post-combustion" och "oxy-fuel" processer¹. I normala förbränningsprocesser är det vanlig luft bestående av i huvudsak kvävgas (N₂) och syrgas (O₂) som utnyttjas. I en optimal förbränningsprocess reagerar kol (C) och väte (H) med O₂ i luften och bildar CO₂ samt vatten (H₂O). Ibland sker även en reaktion med kvävgasen i luften varvid olika kväveoxider (NO_x) bildas, vilket inte är önskvärt då dessa har negativ påverkan på närmiljön.

Även om det talas om CO₂-avskiljning, är det i själva verket i huvudsak kvävgasen som avskiljs från förbränningen. I oxy-fuel innan förbränningsprocessen, varvid förbränningen sker i ren syrgas. Vid post-combustion avskiljs kvävgasen samt eventuella kväveoxider efter förbränningen ifrån

¹ Det finns även pre-combustion tekniker. Dessa baseras dock på tillämpning av IGCC teknologin (integrated gasification combined cycle) där gengas produceras och sedan förbränns. Denna anses inte tillämpbar varken i Stockholms eller ett BECCS perspektiv då tekniken endast är mogen för kolförbränning.

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

rökgaserna. I båda fallen kondenseras vattenånga och vatten ur rökgaserna, varvid värme kan utvinnas genom så kallad rökgaskondensering. Efter att rökgaserna renats så att endast CO₂ återstår, kyls och komprimeras denna till flytande form inför transport.

2.2.1 Post-combustion

Vid post-combustion avskiljs CO₂ ur rökgasflödet. Påverkan på förbränningsprocessen obefintlig eller liten och teknikerna inom denna kategori passar därför väl vid rustning av befintliga anläggningar. Däremot går det åt energi för att separera CO₂ ifrån rökgaserna. För kraftvärmeverk baserade på biomassa består rökgaserna till 14-17% utav biogen CO₂, vilket kan jämföras med ca 13-15% fossil CO₂ ifrån kolbaserade processer (Grönqvist et al, 2006).

En teknologi för skilja CO₂ ifrån rökgaserna är så kallad kemisk absorption. Förenklat reagerar rökgaserna med en kemisk lösning vid ca 40-65 °C, varefter denna hettas upp till 90-120 °C samt trycksätts varvid CO₂ separerar från den kemiska lösningen. Forskning pågår kring olika kemiska lösningar, men tekniken anses mogen då liknande processer har använts under lång tid inom kemisk, petrokemisk och andra industrier. Tekniken är troligtvis den tekniskt mogna CCS tekniken, men har en nackdel i form av den energiförlust som sker när CO₂ separeras från den kemiska lösningen. Dessa är idag i storleksordningen 20-30%, det vill säga att 20-30% av energiinnehållet i bränslet krävs för att driva CCS-processen. Det är dock oklart utifrån litteraturen hur mycket dessa förluster kan minskas om värmen återvinns till Stockholms fjärrvärmesystem.

Världens första fullskaliga demonstrationsprojekt med (fossil) CCS på ett kraftverk, Boundary Dam Power Station i Canada, använder denna teknologi och har som mål att avskilja ca 1 Mt CO₂ per år. Projektet har haft vissa problem, men visar att avskiljningsprocessen med kemisk absorption i full skala är tekniskt möjlig.

Tre andra post-combustion tekniker under utveckling är adsorption, kryogenetisk avskiljning och membran. Adsorption baseras på att binda CO₂ i ett fast material varifrån det sedan kan skiljas. Kryogenetisk avskiljning verkar genom att kondensera CO₂, vilket sker vid -56,6 °C i normalt tryck. Membranavskiljning fungerar helt enkelt genom specialdesignade membran som släpper igenom CO₂, men inte andra gaser. Detta kräver dock stora tryckskillnader, vilket kräver energi. Fortum Värme bedömning är att dessa tre teknologier i nuläget är mindre lämpade för den aktuella kontexten i Stockholmsregionen då de passar bättre på andra processer än kraftvärme och/eller har lägre teknologisk mognadsgrad.

2.2.2 Oxy-fuel

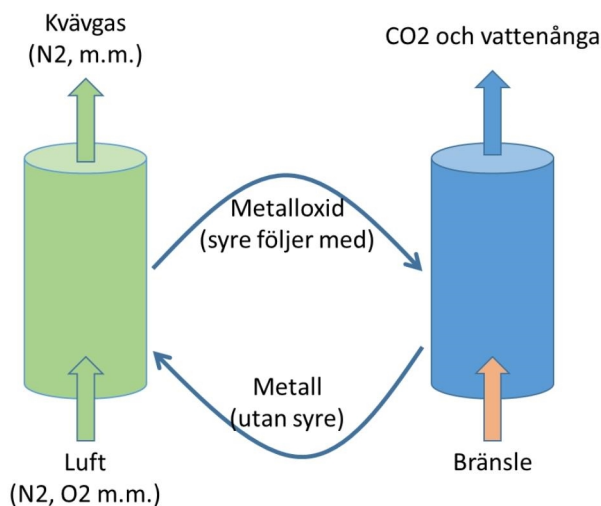
Istället för att separera CO₂ och i huvudsak N₂ efter förbränningsprocessen, kan O₂ avskiljas (produceras) från luften innan förbränning varvid endast vattenånga och CO₂ bildas i denna. Nackdelen med dessa processer är att det ställer helt andra krav på anläggningen, fördelen är att det finns potential att minska energiförlusten vid CCS varvid kostnaden kan sänkas.

Syrgasproduktion är relativt energikrävande. Den teknik som är mest mogen är kryogenetisk syrgasproduktion varvid O₂ framställs genom destillering vid -182 °C. Tekniken är dock välbeprövad och mogen varvid den anses redo för demonstrationsprojekt i skalan 100-400 MW under 2020-talet (IEAGHG, 2014). Det bedöms även finns potential att öka effektiviteten i processen med 5-35%.

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

En lovande teknik och den teknik som har störst möjlighet att minska energiförlusten vid CCS är chemical-looping combustion, så kallad CLC. Tekniken går i kort ut på att två pannor (kallat reaktorer) med fluidiserade bäddar² används med ett syrebärande bäddmaterial (metallbaserad sand) som cirkuleras mellan dessa.



Figur 1. Förenklad skis utav chemical looping combustion (CLC)

I den ena reaktorn tillsätts luft in varvid metallen i bädden (sand) oxideras, det vill säga binder till sig syreatomer. Den syreberikade metallen cirkuleras sedan in i den andra reaktorn där bränsle (biomassa) tillsätts. Sanden släpper i den andra reaktorn ifrån sig syreatomerna varvid förbränning sker utan kvävgas. Därefter cirkuleras sanden i ren metallform utan syrgas tillbaka till den första reaktorn där den åter igen tar upp syre ifrån luften.

Chalmers är bland de världsledande i forskningen kring CLC. Enligt en studie utav Leckner och Lyngfelt (2015) vid Chalmers finns potential att minska kostnaden för koldioxidavskiljning 50-60% genom CLC. En stor del av vinsten är att energiförlusten har potential att minskas till 3,9% (jämför med 20-30% energiförlust för post-combustion). Idag är dock den största CLC anläggningen 3 MW, varvid mer teknikutveckling och forskning behövs innan en fullskalig demonstration uppförs.

2.3 Transport av koldioxid

Om koldioxid avskiljs vid en eller flera anläggningar i Stockholmsregionen återstår frågan om transport. I huvudsak finns tre alternativ att tillgå: pipeline, fartyg och tåg. Transport med vägfordon anses inte genomförbart och inkluderas inte i följande diskussion.

Vid en storskalig implementering av BECCS skulle över två miljoner ton CO₂ årligen kunna avskiljas i Stockholmsregionen. Som tidigare diskuterats skulle följande transport ske i flytande

² Fluidiserad bädd är samma pannsteknologi som Fortum Värme använder i kraftvärmeverk bland annat i Värtaverket KVV8, Högdalen P6 och Brista 1.

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

form, vilket fortfarande kräver stor volym. En pilotanläggning om 30 MW fjärrvärme skulle avskilja ca 70 tusen ton CO₂ per år, vilket fortfarande är en ansevärd mängd CO₂.

2.3.1 Fördelar och nackdelar med olika teknikval

Pipeline är en traditionell teknik ofta använd vid transport av naturgas. I Europa och USA finns stora gasnät baserat på pipelineteknologin. Tekniken är välbeprövad även över stora avstånd och lämpar sig väl om det är mycket stora mängder CO₂ som ska transporteras. Däremot är det svårt att nå kostnadseffektivitet vid små volymer.

Skeppstransport är ur kostnadssynpunkt effektivare än pipelines vid mindre volymer eller mycket stora sträckor. Även inom detta område finns erfarenheter från petroleumindustrin där trycksatt flytande naturgas transporteras globalt. I Norge upphandlad statligt ägda Gasco under 2016 bolagen Knutsen OAS Shipping och Larvik Shipping att ta fram underlag för transport av CO₂ i en CCS-kontext. Ett annat bolag, Anthony Veder, har fartyget Coral Carbonic i drift för dedicerad transport av CO₂ sedan 1999.

Det är intressant att dela infrastruktur med andra gastransporter. Även om naturgas i sig inte är intressant ur Stockholms och Sveriges kontext, kan det vara en viktig del i omställningen på kontinenten. Om effektiva handelsrutter kan hittas av rederier finns potential att avsevärt minska kostnaden för skeppstransport, jämfört med om dedikerade fartyg används.

2.3.2 Transport vid BECCS i Stockholm

Om potentialen med BECCS realiseras i Stockholmsregionen är det vid en pilot eller demonstrationsanläggning troligt mest kostnadseffektivt med skeppstransport. Även vid en storskalig implementering av BECCS är det troligen mest kostnadseffektivt med i huvudsak skeppstransport. Dock, kan det vara ekonomiskt effektivt att bygga ett lokalt pipeline-nät för att samla utsläpp i regionen till en gemensam terminal inför slutgiltig transport med skepp, om flera punktutsläpp avskiljs. Det är även möjligt att det skulle vara mer kostnadseffektivt att använda mindre skepp för transport till gemensam terminal. Detta gäller oavsett om lagring av koldioxid sker under Östersjön eller utanför Norges kust.

3. Praktisk potential, möjligheter och hinder

Potentialen för implementering av BECCS skiljer sig mellan olika anläggningar i Stockholmsregionen. Viktiga parametrar är utrymme, förbränningsprocess, rökgasernas sammansättning. De anläggningar som är intressanta ur ett BECCS perspektiv är de kraftvärmeverk som drivs utav antingen biobränslen eller avfall.

I Fortum Värmes fall är det därmed Värtaverket, Högdalenverket, Bristaverket, Hässelbyverket och ett eventuellt Lövsta som är möjligt. I regionen kan även andra aktörers kraftvärmeverk utrustas med BECCS och även fossila anläggningar som Nynäs Petroleum kan utrustas med ”vanlig” CCS. En uppskattning är att det i sådana ligger i samtliga aktörers intresse att dela infrastruktur som lokala pipelines och/eller fartygsterminaler. Andra aktörers praktiska potential och möjlighet utelämnas dock från en detaljerad analys.

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

Vid biobaserade kraftvärmeverk utgör hela utsläppet en kolsänka. Avfall innehåller däremot i normalfallet en blandning utav biogena och fossila fraktioner. Vid CCS på avfall blir resultatet att fossila utsläpp från exempelvis plast kan avskiljas och lagras och är därmed ett alternativ till andra åtgärder som sorteringsanläggningar. Den biogena fraktionen utgör en kolsänka, på samma vis som annat biogent material.

3.1 Platsbehov

Samtliga Fortum Värmes kraftvärmeverk utom Högdalen har plats för en CCS anläggning på befintliga verk. Vid Värtaverket och Hässelbyverket är det dock trångt och rivning eller flytt av befintlig utrustning kan behövas. Vid Värta verket är en fördel att röret där rökgaserna från KVV8 transporteras är relativt långt, vilket ger flexibilitet vid val av plats. Vid Högdalenverket saknas i dagsläget plats varvid flytt utav andra aktörers verksamheter kan krävas om verket skulle förses med BECCS.

3.2 Energiprocessens lämplighet

Samtliga anläggningar utom de äldre pannorna (P1-P3) vid Högdalen har teknologier och utformning som möjliggör BECCS. Vid samtliga befintliga verk där antingen rooster eller fluidiserade bädd teknologin används är postcombustion processer troligtvis mest tillgängliga teknologi. Ombyggnation till avancerade oxyfuel teknologier som CLC är inte aktuellt med dessa teknikernas mognadsgrad. Däremot är CLC och liknande intressanta att överväga vid nybyggnation och nyetablering.

3.3 Rökgaserna lämplighet

Post combustion teknologier är reaktivt känsliga för föroreningar utav SO₂ och NO_x. Även om samtliga klarar gällande gränsvärden, har de äldre pannorna vid Högdalen och Hässelbyverket vid fåtal fall momentant för höga emissioner för en BECCS process. Vid de andra kraftvärmeverken är detta inte ett problem vid normala driftsituationer.

3.4 BECCS - teknisk och ekonomisk potential

Sammanfattande kan konstateras att förutom Högdalen finns idag teknisk möjlighet att utrusta kraftvärmeverken med BECCS. Vid Värtaverket är platsbristen den största utmaningen, men bör gå att överkomma. Vid Högdalen krävs förutom access till mer mark än vad Fortum Värme i dag förfogar, anpassning av rökgaserna vid de äldre pannorna P1-P3. Även Hässelbyverkets rökgaser behöver anpassas för att fungera i en BECCS.

Ett första steg med BECCS skulle vara att uppföra en pilotanläggning. Antingen genom att bygga en helt ny anläggning, eller genom att ta delar av rökgasflödet från en befintlig. En sådan anläggning på ca 30 MW fjärrvärmeproduktion skulle medföra en kolsänka om ca 50-100 kton CO₂ årligen beroende på utnyttjandetid. Kostnaden för transport och lagring tror i ett sådant stadie uppgå

TeknDr Fabian Levihn

2017-09-27

till ca 1000 kronor per ton CO₂. Hälften av kostnaden utgörs av avskiljning (drift, underhåll samt investering) och den andra hälften utav transport och lagring.

I följande steg medför BECCS på en anläggning som kraftvärmeverk KVV8 vid Värtaverket en kolsänka om hela 700 kton CO₂ per år efter hänsyn till minskad elproduktion och övriga energiförluster i avskiljningsprocessen. Om KVV8, Bristaverket och ett eventuellt Lövsta förses med BECCS förväntas kolsänkan uppgå till cirka 1 300 kton CO₂ per år. Kostnaden är svår att uppskatta vid BECCS på samtliga tre anläggningar, men är troligtvis i intervallet 700-1000 kronor per ton.

I ett större scenario med teknikutveckling och delad infrastruktur med andra utsläpp och andra aktörers kraftvärmeverk i regionen blir kolsänkan 2 300 kton CO₂ per år. Då kan förutom skapande av kolsänka även fossil CO₂ avskiljas samt dela infrastruktur och lagring med BECCS. Potential finns att minska kostnaden till cirka 500 kronor per ton CO₂³.

4. Sammanfattning och diskussion

Det finns goda förutsättningar för att implementera BECCS i Stockholmsregionen, med en potential att minska koncentrationerna av växthusgaser i atmosfären med över 2 000 000 ton CO₂ per år. Även vid uppförande av en mindre pilotanläggning kan en kolsänka motsvarande 50 000 - 100 000 ton CO₂ per år skapas.

Kostnaden för BECCS är från ett företagsekonomiskt perspektiv uppskattad till intervallet 500 till 1000 kronor per ton CO₂ som avskiljs. Detta är väsentligen mer kostnadseffektivt än vmånga andra åtgärder som övervägs och implementeras för att minska växthusgaser runt om i Sverige. Det är även lägre än den svenska koldioxidskatten.

En stor utmaning är dock avsaknaden av politiska styrmedel. Kolsänkor är idag varken berättigande till utsläppsrätter inom det europeiska handelssystemet, skatteväxling eller skatteavdrag. Samtidigt är det makroekonomiskt effektivt om de sektorer som har mycket höga kostnader att minska CO₂ kan skjuta över bördan på andra sektorer. Detta står ej heller i konflikt med klimatberedningens mål om ”netto noll” utsläpp år 2045, som i och med formuleringen öppnar för att en sektors utsläpp kan kvittas mot en annans sektors tillskapade kolsänka.

Stockholm 2017-09-27

Fabian Levihn, TeknDr

R&D Manager, AB Fortum Värme samägt med Stockholms Stad
Research Fellow, KTH Industriell Ekonomi och Organisation

³ I Linus Lindes examensarbete uppges 61 €/ton CO₂, uppdaterade beräkningar visar potential för ytterligare kostnadsänkningar, samt affärsmöjligheter.