



Energimyndighetens titel på projektet – svenska <b>Genomförbarhetsstudie för bio-CCS på Mellanlast i Malmö</b>	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska <b>Implementation study of bio-CCS at new CHP plant In Malmö</b>	
Universitet/högskola/företag <b>E.ON Energiinfrastruktur AB</b>	Avdelning/institution
Adress <b>205 09, Malmö</b>	
Namn på projektledare <b>Ellen Corke</b>	
Namn på ev övriga projektdeltagare <b>Martin Båfält, Magnus Emanuelsson, Gustav Egerup, Mikael Israelsson, Urban Norström</b>	
Nyckelord: 5-7 st <b>CCS, BECCS, Bio-CCS, avfalls-CCS, kraftvärme, CHP, WtE-CCS</b>	

## Förord

Denna genomförbarhetsstudie har delfinansierats med 50% av Energimyndigheten inom ramen för Industriklivet.

Studiens övergripande syfte har varit att inom ramen för en genomförbarhetsstudie kartlägga tekniska och ekonomiska förutsättningar för att möjliggöra en implementering av koldioxidinfångning, sk. Carbon Capture and Storage ("CCS"), ihop med en ny anläggning i Malmö och att få fram underlag för fortsatta studier. Ett viktigt delmål har varit att öka förståelsen och stärka kompetensnivån för negativa emissioner av koldioxid inom bolaget samt bidra till att stärka denna hos andra aktörer på marknaden.

Denna genomförbarhetsstudie genomfördes under 2022/2023. Inom projektet har arbete skett i en E.ON-intern projektgrupp bestående av projektledare, tekniska experter inom kraftvärmeområdet och experter inom det ekonomiska och politiska området. Kunskap inom koldioxidavskiljning, logistik och lagring har tagits in i projektet *via* konsultföretag.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	3
Summary .....	4
Inledning/Bakgrund .....	5
Genomförande .....	6
Resultat .....	6
Infångningsteknik .....	7
Mass- och energibalanser.....	7
Logistik .....	7
Ytbehov.....	8
Infångningskostnad .....	8
Diskussion.....	8
Kommande arbete .....	9
Referenser, källor.....	10
Bilagor .....	11

## Sammanfattning

Eliminering av fossila utsläpp samt generering av kolsänkor kommer vara nödvändiga för att uppnå Parisavtalets klimatmål och kompensera för de utsläpp som är svåra att reducera fullt ut med andra åtgärder. Införandet av Bio-CCS eller BECCS (eng. Bio-Energy Carbon Capture and Storage) är identifierat av IPCC som en väg till att åstadkomma negativa CO<sub>2</sub>-emissioner, vilket är en nödvändighet för att klara både 1,5°C och 2°C målen. Storskaliga anläggningar för förbränning av biomassa har en unik position att bidra till negativa emissioner genom att implementera CCS.

Koldioxidinfångning och lagring som integreras med avfallsförbränning ("avfalls-CCS") är centralt för att komma åt de fossila punktutsläpp som denna samhällsviktiga funktion genererar. CO<sub>2</sub>-utsläppen från avfallsförbränning är idag såväl fossila (plast mm. i avfallet) som biogena, således reducerar CCS vid denna typ av anläggningar både den fossila och biogena CO<sub>2</sub> som genereras.

Det övergripande målet med projektet är att kartlägga tekniska och ekonomiska förutsättningar för ett nytt bio/avfallseldat kraftvärmeverk med CCS-teknik. Vidare så har val av panntyp och ytterligare teknik gjorts för att erhålla en så effektiv CO<sub>2</sub> separation som möjligt. Arbetet innefattar hela värdekedjan, från infångning till transport och slutligen lagring. Genom att implementera CCS finns potential att reducera de totala utsläppen av fossil och biogen koldioxid med upp till 270 kton/år efter 2028, beroende på grad av realisering.

Denna genomförbarhetsstudie indikerar att den totala kostnaden för hela värdekedjan, från infångning till slutlagring, förväntas att bli kring 1600 – 2100 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Investeringsbeloppet för CCS anläggningen estimeras till mellan 2 och 3 miljarder SEK. Emellertid är dessa resultat behäftade med stor osäkerhet och skall enbart ses som indikativa.

I denna studie har en fördjupad analys gjorts för aminteknik. Detta för att erhålla en detaljerad bedömning av effekter på energisystemet. Det kvarstår dock frågor avseende miljö, lagstiftning och tekniska risker som kommer ha stor påverkan på det slutgiltiga valet av teknik.

## Summary

The elimination of fossil CO<sub>2</sub> emissions and the generation of carbon sinks will be necessary to achieve the Paris Agreement's climate goals and compensate for the emissions that are difficult to reduce fully with other measures. The introduction of BECCS (Bio-Energy Carbon Capture and Storage) is identified by the IPCC as a path to achieving negative CO<sub>2</sub> emissions, which is a necessity to meet both the 1.5°C and 2°C targets. Large-scale facilities for biomass combustion are in a unique position to contribute towards negative CO<sub>2</sub> emissions by implementing CCS.

Carbon capture and storage that is integrated with waste incineration ("Waste to Energy CCS" or "WtE CCS") is central to accessing the fossil point emissions that this important function for society generates. CO<sub>2</sub> emissions from waste incineration are today both fossil (plastic etc. in the waste) and biogenic, thus CCS at this type of plant reduces both the fossil and biogenic CO<sub>2</sub> that is generated.

The goal of this project is to map the technological and economic conditions for a new biomass/waste fired combined heat and power plant equipped with CCS. Furthermore, the choice of boiler type and other technology has been made to enable efficient operation of the CCS plant. This work includes the entire value-chain, from capture to transport and finally storage. Implementing CCS results in a potential to reduce the total annual emissions of fossil and biogenic carbon dioxide by up to 270 ktonnes/year after 2028, depending on the degree of realization.

This feasibility study indicates that the total cost for the entire value chain, from capture to final storage, will be around 1,600–2 100 SEK/ton CO<sub>2</sub>. The investment amount for the CCS plant is estimated at between 2 and 3 billion SEK. However, these results are subject to great uncertainty, and it is assumed that the cost may exceed these indicative figures.

An in-depth study was made for amine-technology CCS. This was to obtain a detailed analysis of its effects on the energy-system. However, questions concerning environment, legislation and technical risks remain, which may strongly impact the final choice of carbon capture technology.

## Inledning/Bakgrund

E.ON har som mål att uppnå en miljömässigt hållbar verksamhet med nettonollutsläpp av växthusgaser senast år 2035. Målet innebär att vi ska ha noll utsläpp av växthusgaser i vår egen verksamhet till 2030 och vara helt NettoNoll till 2035, vilket även inkluderar indirekta utsläpp som uppstår till följd av vår verksamhet. Ambitionen är att genomföra denna omställning inom alla verksamhetsområden så fort det är tekniskt, ekonomiskt och praktiskt möjligt, men senast 2035. Vi ska arbeta för minskade växthusgasutsläpp genom hela vår värdekedja, ersätta fossila energikällor med förnybara, och implementera teknik för att skapa kolsänkor för de utsläpp som tar lång tid att arbeta bort.

För att uppnå såväl Parisavtalets som E.ON:s klimatmål krävs negativa emissioner för att kompensera för de utsläpp som är svåra att reducera fullt ut med andra åtgärder. En storskalig Bio-CCS anläggning skulle utgöra ett signifikant bidrag till att reducera dessa utsläpp samt bidra till fortsatt hög leveranssäkerhet i Malmö.

Detta projekt syftar till att översiktligt kartlägga tekniska och ekonomiska förutsättningar för att möjliggöra konstruktion av ny kraftvärmeproduktion som genererar kolsänkor (genom Bio-CCS och avfall-CCS) i Malmö. Arbetet innefattar hela värdekedjan, från infångning till transport och slutligen lagring. Genom att implementera CCS, finns potential att reducera de totala, årliga, utsläppen av koldioxid med upp till 270 kton/år efter 2028, beroende på grad av realisering.

Förväntat framtida värmebehov och ett behov av att förnya sina produktionsanläggningar i Malmö har resulterat i att E.ON ser en möjlighet att bygga en ny mellanlastanläggning i Malmö hamn. I detta projekt har en anläggning som kan leverera 140MW värme och 50MW el antagits, med ett bränsle bestående av biomassa (rester från skogsbruk, t.ex GROT och sågspån) och returträ. Utöver detta undersöks möjligheterna att från början designa anläggningen för god kompatibilitet med CCS. Detta då de producerade volymerna CO<sub>2</sub> samt närhet till hamn borgar för god driftsekonomi.

Detta projekt har utgått ifrån att den nya anläggningen kan byggas på en tomt som tillhör Malmö stad. Detta då E.ON:s egen tomt i hamnområdet bedöms vara för liten för att kunna rymma såväl CCS-anläggningen som mellanlager och ett tillräckligt bränslefforråd. Resultaten från denna studie kommer dock användas för att pröva denna bedömning. Ytterligare fördelar med den i projektet föreslagna tomten inkluderar kortare avstånd till såväl kaj som Sysav, som driver anläggning med avfallsförbränning. Då även Sysav undersöker kommande investeringar i CCS kan en fysiskt nära placering ge stora synergieffekter, speciellt med avseende på förvätskning, mellanlagring och export av infångad CO<sub>2</sub>.

Baserat på valet av panna och tomt genomfördes en screening av olika CCS metoder med syftet att välja en teknik för djupare bedömning. Efter detta genomfördes en förstudie för tre fall, nämligen en fristående panna (som referens), panna med CCS, samt panna med CCS optimerad för värmeåtervinning med hjälp av värmepumpar.

## Genomförande

Syftet med detta projekt är att öka samt sprida kunskapen om CCS, både internt inom E.ON och externt till andra intressenter. Studien utformades för att utvärdera förutsättningar och identifiera nödvändiga åtgärder för installation av en ny Bio-CCS anläggning. Projektets struktur och genomförande har byggts på ett antal arbetspaket (AP) och dessa har genomförts med hjälp av både interna och externa expertresurser. Kunskap inom koldioxidavskiljning, logistik och lagring har tagits in i projektet *via* Ramboll (Johan Götvall, Ebbe Hauge, Christian Riber m.fl.).

AP1: Projektledning, kommunikation, kunskapsöverföring och rapportering. Detta AP omfattade projektledningen och koordinering av såväl konsulter som interna resurser för arbete i AP2- AP4. Här hanteras även övergripande rapportering och kommunikation både internt och externt. En del av detta paket har också allokerats för att ordna interna workshops, samt ta fram en strategi för (intern) kunskapsinhämtning och -spridning.

AP2: Teknikstudie och energisystemanalys för koldioxidavskiljning. I AP 2 genomfördes kartläggning, datainsamling, utveckling och beräkningar av mass- och värmebalanser. I detta paket ingick även en screening av olika CCS-tekniker.

AP3: Hantering, mellanlagring och transport av avskild koldioxid. AP3 innefattar en utvärdering av olika alternativ för transport och lagring (både mellan- och slutlagring) av koldioxid.

AP4: Kostnadsanalys (CAPEX/OPEX). I detta AP analyserades investerings- och driftskostnader för de olika CCS-implementeringarna.

## Resultat

Resultat från studien presenteras i tillhörande delrapporter, bilagor 1 – 3. Nedan presenteras en sammanfattning.

### Kraftvärmeverk

Baserat på förväntat behov bestämdes att den färdiga anläggningen ska kunna leverera en fjärrvärmeeffekt på 140 MW oavsett om tillhörande CCS-anläggning är i drift eller inte. Vidare förutsågs ett behov av turbin (~50 MW<sub>el</sub>) samt direktkondensator för maximal flexibilitet mellan elproduktion och ökad fjärrvärmeleverans vid toppar. Utöver detta förutsågs ett behov av hög bränsleflexibilitet. En slutgiltig bränslespecifikation finns inte i dagsläget men i detta projekt har en blandning bestående av 60% RT, 25% spån/flis, samt 15% GROT använts.

Låga syreöverskott samt hög koncentration av CO<sub>2</sub> i rökgasen är positivt för samtliga CCS-tekniker. Detta innebär att en effektiv eldstad med optimerad förbränning kan påverka driftsekonomi för CCS-anläggningen avsevärt. Baserat på detta valdes en cirkulerande fluidbäddspanna (CFB) i kombination med det E.ON-ägda förbränningskonceptet Improbred<sup>TM</sup>. Detta då denna kombination

förväntas resultera i högsta möjliga CO<sub>2</sub>-koncentration för konventionell förbränning.

### **Infångningsteknik**

En screening av olika CCS-tekniker genomfördes för att välja en teknik för mer detaljerade studier. Flera post combustion-tekniker utvärderades med hänsyn till: miljö och hälsa, CAPEX, energibehov, drift/underhåll, och kostnad/ton infångad CO<sub>2</sub> såväl som ”Technology Readiness Level” (TRL) samt ”Commercial Readiness Index” (CRI). I linje med vad som konstaterats i tidigare studier<sup>1,2</sup> så är de två teknikerna HPC och aminteknik mest lovande på kort sikt då de är tekniskt och kommersiellt mer mogna. Vidare så är kostnaden för dessa tekniker jämförbar (med viss fördel för aminteknik), hållande i minne de relativt stora osäkerheterna i dessa uppskattningar.

Efter genomförd screening valdes aminteknik med aminen AMP-PZ (CESAR-1) för fortsatta studier och processmodellering. CESAR-1 förväntas vara en något dyrare amin än MEA men uppvisar stora fördelar i form av till exempel reducerad last för desorberarna samt minskad användning av färsk amin.

De huvudsakliga anledningarna till att aminteknik valdes över HPC inkluderar en högre teknisk och kommersiell mognadsgrad, lägre elförbrukning och bättre förmåga att hantera lastvariationer. Vidare innebär byggnation av en ny panna att utrustning som turbinen redan från början kan designas för att tillhandahålla ånga vid nödvändigt tryck till CCS-anläggningen. Vilket bäddar för en energieffektiv integrering.

Amintekniken kräver vissa hänsynstaganden, vilka inkluderar hantering av uttjänt amin samt en risk för emissioner till atmosfär. I detta projekt antas den uttjänta aminen kunna förbrännas i eldstaden. Vidare så finns det flera tekniker för att minimera emissioner av amin och en noggrann utvärdering av dessa kommer genomföras i följande projekt.

### **Mass- och energibalanser**

En detaljerad studie för kraftvärmeverkets olika värmebalanser återfinns i Bilaga 3. Den höga CO<sub>2</sub> koncentrationen tillsammans med teknikval som ”Lean Vapour Compression” (LVC) och ”Absorber Intercooler” (AIC) resulterar i en ”Specific Reboiler Duty” (SRD) på 2,24 MJ/kgCO<sub>2</sub>. Vidare så möjliggör användandet av värmepumpar en bibehållen värmeleverans på 140 MW med CCS-anläggningen i drift. Detta innebär att den enda skillnaden i leverans från en anläggning med CCS gentemot ett fristående kraftvärmeverk är en reducerad elproduktion, motsvarande 1,0 MJ/kgCO<sub>2</sub> (inklusive förvätskning). Detta reducerar kraftvärmeverkets elverkningsgrad från 28 till 18 %.

### **Logistik**

Det finns flera tänkbara alternativ för transport av infångad CO<sub>2</sub>, såsom transport med pipeline eller lastbil till mellanlager i Malmö för vidare transport med båt, eller transport med pipeline till Köpenhamn. Gemensamt för alla lösningar är att

samarbete med andra aktörer som fångar in CO<sub>2</sub> är nödvändigt då det kan finnas stora synergieffekter. Inte minst för förvätskning, mellanlagring och skepptransport. Detta blir tydligt när man utöver lokala producenter även inkluderar intressenter utanför Malmö. Detta görs för de sydligaste delarna av Sverige inom projektet CnetSS<sup>3</sup>.

Fokus i denna studie ligger kring ett relativt litet mellanlager och en utforsning av CO<sub>2</sub> till kaj via lastbil eller rörledning. Detta görs för att erhålla en realistisk kostnad och ytbehov för nödvändig utrustning. Det finns sannolikt en möjlighet att samordna den lokala infrastrukturen som behövs med andra aktörer i hamnen – detta för att nå lägre specifik kostnad för hanteringen av CO<sub>2</sub>.

### **Ytbehov**

En CCS anläggning tar stor plats och denna utredning har visat ett exempel på hur stor yta en anläggning av denna typ kan behöva. Det stora behovet av yta gör att det kan vara utmanande att få plats med denna installation om tomten är för liten. Dessa aspekter behöver utredas närmare i kommande studier.

### **Infångningskostnad**

En CCS-anläggning med värmepumpar för ökad värmeåtervinning är det mest ekonomiska alternativet sett till total infångningskostnad med en livscykelkostnad på 1300 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Det bör nämnas att ungefär halva kostnaden utgörs av kapitalkostnad vilket är ett resultat av den något begränsade produktionen (4500 h/år).

Efterföljande transport och lagring antas utföras antingen genom transport *via* pipeline till Köpenhamn eller *via* transport med båt. De totala livscykelkostnaderna för de två alternativen är utvärderade till 1600 SEK/ton CO<sub>2</sub> respektive 2100 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

### **Diskussion**

Denna studie har visat att CCS med aminteknik kan resultera i en relativt energieffektiv drift. Detta då rökgaserna i denna studie har en hög koncentration av CO<sub>2</sub> samt att CCS-systemet försetts med energieffektiviserande utrustning såsom LVC, AIC och värmepumpar för ökad återvinning av restvärme. Vidare så bedöms aminteknikens dellastkapacitet vara av stor vikt för den planerade anläggningen då denna kommer utgöra mellanlast. Det återstår dock frågor gällande tekniska och miljömässiga risker som måste utredas ytterligare för att kunna fastställa lämplig teknik för koldioxininfångning.

En viktig fråga för framtida implementering av CCS är huruvida elförbrukningen kopplad till denna kommer belastas med elskatt. Även värmepumpar för återvinning av restvärme från CCS-anläggningen bör bedömas på samma sätt som resterande CCS-anläggning. Därmed säkerställs att olika CCS-tekniker jämförs på samma grund.



För att främja utbyggnad av CCS-anläggningar så bör samtliga aspekter av CCS vara befriade från elskatt.

Mellanlagring och transport av infångad koldioxid riskerar att bli dyrare än förväntat för en anläggning som inte är i kontinuerlig drift då fartyg och utrustning inte kan användas året runt. Detta belyser vikten av gemensam infrastruktur för hantering av CO<sub>2</sub> där flera aktörer kan använda samma hub.

Utöver de designförutsättningar som redan angetts så undersöks även möjligheten att förbereda pannan för full eller partiell oxy-fuel förbränning. Tillgänglig syrgas från, till exempel, en närliggande elektrolysanläggning kan då introduceras till eldstaden i syftet att erhålla ännu högre CO<sub>2</sub>-halter i rökgaserna. Vid partiell oxy-fuel kommer detta reducera mängden energi som krävs för CCS-anläggningen, medan full oxy-fuel hade inneburit att endast förvätskningsdelen av CCS-anläggningen behöver vara i drift. Följaktligen finns god potential för samverkan med andra industriella anläggningar för till exempel vätgas- eller metanolproduktion.

### **Kommande arbete**

Kommande arbete kommer att fokusera på att fortsätta utreda möjligheterna till etablering av CCS när lokalisering av den nya anläggningen är klar.

Vidare är behovet att utreda möjligheter till en sk. CO<sub>2</sub> Hub i Malmö hamn identifierat, och kommer utredas i samarbete med andra aktörer, till exempel inom CnetSS.

Utredning för etablering av CCS vid nya kraftvärmeverket i Malmö behöver bland annat innefatta följande:

- Fortsatt arbete med regulatoriska aspekter, styrmedel och intäktsströmmar såsom:
  - Tillsammans med andra aktörer fortsätta verka för en tydlighet och gemensamma tolkningar av befintliga regelverk
  - Arbeta vidare med marknaden för CO<sub>2</sub> i CCU
  - Arbeta vidare med marknaden för negativa emissioner
- Inleda fördjupad förstudie/förprojektering för integration av CCS i anläggningen, detta bedöms omfatta bland annat:
  - Djupare analysera lokalisering och ytbehov
  - Djupare analysera hur en integration av CCS utformas på optimalt sätt
  - Risker avseende människors hälsa och miljö
  - Teknikrisker kopplat till aminer och möjlighet att hantera/optimera del-last

## Referenser, källor

1: Genomförbarhetsstudie för bio-CCS på Åby och Händelö kraftvärmeverk, Rapport till Energimyndigheten, Diarienummer 2021-046186

2: Teknik, systemintegration och kostnader för bio-CCS, Energiforsk, ISBN 978-91-7673-837-5

3: [Sydsvenskt projekt för att fånga in koldioxid \(veab.se\)](https://veab.se)  
(besökt 2023-05-22)

## **Bilagor**

Administrativ bilaga (se mall) (OBLIGATORISK)

Bilaga 1: E.ON Carbon Capture & Storage (CCS), Design Basis

Bilaga 2: E.ON Carbon Capture & Storage (CCS), Carbon Capture Technology Screening

Bilaga 3: Carbon Capture EVK Malmö, Pre-Feasibility Study