

Bio-CCS i ett växande Jönköping

SLUTRAPPORT

1 (105)

Datum
2024-02-28

Dnr

Projektnr
P2022-00926

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Bio-CCS i ett växande Jönköping	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Bio-CCS in a growing Jönköping	
Universitet/högskola/företag Klimatpositivt & Kolsänkor AB (KLIMPO), Jönköping Energi AB	Avdelning/institution -
Adress -	
Namn på projektledare Kristofer Pettersson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Richard Unger, Malin Fredriksson, Karolina Unger, Catarina Hästesko, Magnus Olsson, Per Eklund, Lina Forndal, Annie Grann, Linda Svensson, Piroz Kristedt, Mats Palmerus, Dan Bruhn, Fridolf Eskilsson	
Nyckelord: 5-7 st Bio-CCS, Bio-CCU, koldioxidavskiljning, negativa utsläpp, klimatpositiv fjärrvärme	

Förord

Förstudien *Bio-CCS i ett växande Jönköping* har finansierats av Statens energimyndighet, Jönköping Energi AB och Klimpo Klimatpositivt och Kolsänkor AB. Statens Energimyndighet har beviljat projektet stöd motsvarande 50 procent av stödgrundande kostnader (2 911 500 kr). Projektet genomförs inom ramen för uppdraget Industriklivet, förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning. Projektet utfördes mellan juni år 2022 till januari år 2024.

År 2045 skall Jönköping Energi vara en kolsänka och bidra till att minska samhällets växthusgasutsläpp. Med detta menas att Jönköping Energi skall vara klimatpositiva, fånga upp koldioxid ur kretsloppet och bidra med minusutsläpp. Som en del i detta vill Jönköping Energi utreda möjligheten att bygga en anläggning för koldioxidavskiljning vid kraftvärmeverket Torsvik. Potentialen är att avskilja ca 270 000 ton biogen koldioxid och 70 000 fossil koldioxid årligen.

Studien har genomförts i samarbete med Klimpo Klimatpositivt och Kolsänkor AB. Klimpo är i dagsläget involverade i flera forskningsförstudier inom Bio-CCUS och har god kunskap inom området, ett brett kontaktnät och lång erfarenhet av projektledning inom energibranschen.

Projektet har varit utvecklande och lärorikt för alla inblandade. Idag, januari år 2024, känner många fler Jönköpingsbor till Jönköping Energis klimatarbete och vad Bio-CCS, Bio-CCU och klimatpositivt är jämfört med i juni år 2022. Projektet intresserade till och med en syjuntagrupp i Jönköping som ringde efter ett nyhetsinslag om detta Bio-CCUS-projekt i SVT. Efter det positiva projektslutmötet i december år 2023 förs diskussioner och planering för fortsättningen av projektet.

Tack till alla underbara Jönköpingsbor och Jönköpingsföretag som bidragit till detta viktiga projekt!

Innehållsförteckning

Sammanfattning	6
Summary	8
1. Inledning	10
Projekt mål	10
Genomförande	10
AP1 - Teknik	11
AP2 - Tillstånd och krav	11
AP3 - Kommunikation	11
AP4 - Logistik och transport	11
AP5 - Jämförelse Bio-CCS och Bio-CCU	11
AP6 - Finansiering	11
Resultat	12
2. AP1 Teknik	12
Bakgrund	12
Anläggningsdata	15
Tekniker	16
Teknik 1 MEA	18
Teknik 2 HPC	19
Teknik 3 Joniska vätskor	21
Teknik 4 Kryogen teknik	23
Teknik 5 Membran	23
Förvätskning av koldioxid	24
Processmodellering och simulering	25
Mass-och energibalans - MEA	25
Energiprofil MEA	26
Värmeåtervinning MEA	26
Mass- och energibalans HPC	27
Energiprofil HPC	27
Värmeåtervinning HPC	28
Mass- och energibalans Joniska vätskor	28
Energiprofil Joniska vätskor	28
Energibehov och teknikval	28
Kostnadsberäkningar	29
Investeringskostnader	30
Resultat Totalkostnader	31
Resultat MEA	31
Resultat HPC	32
Resultat Joniska vätskor	33
Totalkostnad och teknikval	34
Kryogen teknik	35
Anläggningsyta	35
Jämförelse Bio-CCS och Bio-CCU (AP5)	37
Diskussion teknik	41
Rekommendation för fortsatt arbete	43
3. AP2 Tillstånd	44

Kraftvärmeverket Torsvik.....	44
KVVT1	44
KVVT2	44
Koldioxidutsläpp från Torsvik.....	45
Bygglov för anläggningen	45
Miljötilstånd för anläggningen	46
Koldioxidavskiljning för permanent lagring.....	46
Avskiljning för tillverkning av bränsle.....	47
Nytt tillstånd eller ändringstillstånd.....	47
Prövningsinstans	47
Miljöbedömning.....	47
Villkor i miljötilstånd	47
Utsläpp av koldioxid.....	48
Mätpunkter.....	48
BAT-slutsatser	48
Lagring av avskild koldioxid på anläggningen.....	49
Buller	49
Avfall och restprodukter	49
Sevesolagstiftningen	50
Kemikalier i avskiljningsprocessen	50
Omvärldsbevakning: Pågående tillståndsprocesser	51
Vattenfall AB – Jordbro.....	51
Stockholm Exergi – Värtahamnen.....	51
Söderenergi – Igelstaverket	52
Diskussion.....	53
Rekommendation för fortsatt arbete	54
4. AP3 Kommunikation	55
Genomförande	55
Samordning av projektets kommunikationsbehov.....	55
Dialograpport.....	56
Stärkt varumärket Jönköping Energi	56
Ökad förståelse och kunskap om Bio-CCS, Bio-CCU och förstudien	57
Kunddialog och marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme	57
Tillvägagångssätt och respondenter, Marknadsanalys.....	57
Resultat, Marknadsanalys	59
Tillvägagångssätt, Kunddialog	59
Sammanfattning av Kunddialoger	60
Diskussion.....	62
Rekommendation	63
AP4 Logistik och transport	64
Inledning	64
Förutsättningar och avgränsningar.....	65
Omvärldsanalys	66
CNetSS.....	66
Göteborgs Hamn	67
Stockholm Norvik.....	67
Gävle Hamn	67

Hamnar.....	68
Fartyg.....	69
Tåg.....	70
Lagringsplatser.....	70
Lagringspotential i Norden.....	71
Internationella Lagringsområden.....	71
Lagringsaktörer.....	72
Northern Lights.....	72
Horisont Energi.....	72
Project Greensand.....	72
CarbonCuts.....	73
Carbfix.....	73
Endurance.....	73
Storegga.....	73
Stella Maris (Altera Infrastructure).....	73
Kostnadsanalys permanent lagring.....	73
Jönköping Energi.....	74
Mellanlager.....	77
Rörledningar.....	78
Stickspar.....	78
Tåg.....	78
Fartyg.....	79
Lastbil.....	79
Kostnadssammanställning.....	79
Volymscenario 1 (180 000 ton CO ₂ /år).....	79
Volymscenario 2 (160 000 ton CO ₂ /år).....	80
Volymscenario 3 (340 000 ton CO ₂ /år).....	81
Regler för transport.....	82
Järnväg.....	83
Rörledning.....	83
Diskussion.....	83
Rekommendation.....	85
AP6 Finansiering.....	85
Omvärldsbevakning.....	86
EU ETS – Handel med utsläppsrätter.....	86
Utsläppsrätter ETS.....	87
Ny EU strategi för industriell koldioxidhantering – avskiljning, användning och lagring av koldioxid.....	93
Affärsmodell för Bio-CCS.....	93
Investeringskalkyl.....	94
Affärsmodell för Bio-CCU.....	95
Jämförelse totalkostnader för CCS.....	96
Diskussion.....	98
Rekommendation.....	99
Referenser, källor.....	100
Figurförteckning.....	103
Tabellförteckning.....	104

Bilagor 105

Sammanfattning

Syftet med projektet är att utreda möjligheten att etablera en koldioxidinfångningsanläggning på kraftvärmeverket Torsvik i Jönköping samt ett nav för mellanlagring av koldioxid. Målet är att identifiera en hållbar affärsmodell samt ta fram tillräckliga underlag för att i förlängningen kunna starta detaljprojektering för avskiljning och förvätskning av koldioxid i Jönköping.

Projektmålen har delats upp i delmål kopplade till sex arbetspaket (AP).

- Delmål, AP1: Planlägga en effektiv anläggning för koldioxidavskiljning och förvätskning i samspel med ackumulatortank.
- Delmål, AP2: Identifiera nutida samt framtida nödvändiga krav och tillstånd avseende koldioxidinfångning samt för koldioxidtransport och användning.
- Delmål, AP3: Identifiera intressentgrupper och initiera samarbete med lokala företag och organisationer.
- Delmål, AP4: Framtagande av logistik- och transportlösningar från avskiljning av koldioxid till och med transport till hamn alternativt till möjlig användning. Ge svar på om det lokalt kan finnas en tänkbar plats för mellanlagring av koldioxid.
- Delmål, AP5: Jämföra potentialen för Bio-CCS kontra Bio-CCU ur ett kostnads- samt nyttoperspektiv.
- Delmål, AP6: Ta fram en affärsmodell för en fullskalig Bio-CCS-anläggning. Identifiera risker och kostnader längs hela logistikkedjan fram till koldioxidlagring alternativt användning.

Resultatet i studien har påvisat olika skillnader och egenskaper för avskiljningsteknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor. Den specifika energiprofilen för varje teknik har redovisats i samband med investerings- och driftkostnader som tillsammans utgör totalkostnaden för att avskilja och förvätska koldioxiden från rökgaserna från Torsvik kraftvärmeverk.

Studien visar att den totala kostnaden för att avskilja och förvätska den gemensamma koldioxiden från KVVVT 1 och KVVVT 2 är mellan 556–849 SEK/ton CO₂ för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor.

Kostnader för att transportera koldioxiden till permanent lagring uppgår till ett lägsta pris av 530 SEK/ton CO₂. Resultatet från studien påvisar att omlastning av koldioxid är ett dyrt moment i värdekedjan.

Det totala prisintervallet för att avskilja och lagra ett ton koldioxid uppgår enligt studiens investeringskalkyl till ett lägsta pris av 1 220 SEK/ton CO₂. För att investeringskalkylen ska vara positiv så behöver priset för försäljning av kolkrediten överstiga avskiljningskostnaden för hela värdekedjan.

För att fortsätta vidare med de tekniska studierna inom Bio-CCS så behöver ett teknikval göras i tidigt skede för att i nästa steg kunna utföra en optimerings- och integreringsstudie. Det är en nödvändighet för att minska det specifika energibehovet som krävs för avskiljningsanläggningen för koldioxid. Minskat energibehov resulterar i en lägre totalkostnad per ton avskild koldioxid.

Flera tillståndsansökningar för koldioxidavskiljningsanläggningar pågår för andra aktörer vilket kommer att underlätta och förstå villkoren för efterkommande företag i liknande ansökningsprocesser. Jönköping Energi behöver genomföra flera beslut som berör tekniska aspekter innan de kan fortsätta med förberedelserna för en tillståndsansökan.

Projektgruppen har under studiens gång framgångsrikt informerat kunder och övriga intressenter till Jönköping Energi om det positiva värdet en Bio-CCS-anläggning hade skapat för Jönköping Energi och Jönköping Län. Fortsatta dialoger behövs för att utforska framtida partnerskap och för att fortsätta utvecklingen av det klimatpositiva arbetet. Projektgruppen anser att förstudien stärkt Jönköping Energis varumärke genom att tydligt visa intresse för ett aktivt klimatarbete som kommer att bidra till att Sverige klarar klimatmålen 2045. Det är av stor betydelse att aktivt involvera och inleda samarbeten med olika parter, såsom kunder, slutlagringsplatser, finansiärer, kompetens och andra resurser. Utveckling går snabbt inom Bio-CCS och Bio-CCU idag.

Studien har bekräftat att genomförandet av Bio-CCS och Bio-CCU är väl möjligt i Jönköping och har bidragit med värdefulla insikter för att vägleda det fortsatta projektarbetet. Jönköping Energi med sina 340 000 ton koldioxid kan även vara en viktig aktör i inlandet mellan-Sverige och kan vara drivande i att fler etablerar avskiljningsanläggningar för koldioxid på de industrier som har mindre volymer genom att agera som ett logistikcentrum för koldioxid.

Summary

The purpose of the project is to investigate the possibility of establishing a Bio-CCS facility in Torsvik, Jönköping, and a hub for intermediate storage of carbon dioxide. The goal is to identify a sustainable business model and provide sufficient documentation to ultimately initiate detailed planning for the capture and liquefaction of carbon dioxide in a Bio-CCS facility.

The project goals have been divided into sub-goals linked to six work packages (WP).

- Goal, WP1: Planning an efficient facility for carbon dioxide capture and liquefaction, in coordination with an accumulator tank.
- Goal, WP2: Identified and evaluated current as well as future necessary requirements and permits regarding carbon dioxide capture, carbon dioxide transport, and carbon dioxide utilization.
- Goal, WP3: Identified stakeholder groups and initiated dialogues with local companies and actors.
- Goal, WP4: Development of logistics and transportation solutions from the capture of carbon dioxide up to and including transportation to the port or potential utilization. Provide answers as to whether there may be a feasible local location for interim storage of carbon dioxide.
- Goal, WP5: Compared the potential of Bio-CCS versus Bio-CCU from a cost and benefit perspective.
- Goal, WP6: Develop a business model for a full-scale Bio-CCS (Biological Carbon Capture and Storage) facility. Identify risks and costs along the entire logistics chain up to carbon dioxide storage or utilization.

The results of the study have identified various differences and characteristics for the separation technologies MEA, HPC, and Ionic Liquids. The specific energy profile for each technology has been presented in relation to investment and operating costs, which together constitute the total cost of separating and capturing carbon dioxide from the flue gases.

The study indicates that the total cost of separating and capturing the common carbon dioxide from KVVT1 and KVVT 2 ranges between 556-849 SEK/ton CO₂ for the MEA, HPC, and Ionic Liquids technologies. The costs for transporting the carbon dioxide to permanent storage amount to a lowest price of 530 SEK/ ton CO₂. The study results reveal that the reloading of carbon dioxide is an expensive step in the value chain.

The total price range for separating and storing one ton of carbon dioxide, according to the study's investment calculation, amounts to a lowest price of 1220 SEK/ ton CO₂. For the investment calculation to be positive, the selling price of carbon credits needs to exceed the separation cost for the entire value chain.

To proceed with the technical studies in Bio-CCS, a technology choice needs to be made early on to perform an optimization and integration study in the next step. This is necessary to reduce the specific energy requirement for the carbon dioxide separation facility. Reduced energy demand results in a lower total cost per ton of separated carbon dioxide.

Several permit applications for carbon dioxide separation facilities are underway for other entities, which will facilitate and provide insights into the conditions for subsequent companies in similar application processes. Jönköping Energi needs to make several decisions regarding technical aspects before they can proceed with the preparations for a permit application.

During the course of the study, the project team has successfully informed customers and other stakeholders of Jönköping Energi about the positive value a Bio-CCS facility would create for Jönköping Energi and Jönköping County. Continued dialogues are needed to explore future partnerships and to continue the development of climate-positive initiatives. The project team believes that the pre-study has strengthened Jönköping Energi's brand by clearly demonstrating an interest in active climate work that will contribute to Sweden achieving its climate goals by 2045. It is crucial to actively involve and initiate collaborations with various stakeholders, such as customers, final storage sites, financiers, expertise, and other resources. Development is advancing rapidly within Bio-CCS and Bio-CCU today.

The study has confirmed that the implementation of Bio-CCS and Bio-CCU is viable in Jönköping and has provided valuable insights to guide the ongoing project work. With its 340,000 tons of carbon dioxide, Jönköping Energi can also be a key player in inland central Sweden and can drive the establishment of carbon dioxide separation facilities for industries with smaller volumes by acting as a logistics center for carbon dioxide.

1. Inledning

Statens energimyndighet har beviljat Jönköping Energi AB och Klimpo Klimatpositivt & Kolsänkor AB stöd motsvarande 50 procent av stödgrundande kostnader (2 911 500 kr) för att under 2022-06-15– 2023-12-31 genomföra projektet *Bio-CCS i ett växande Jönköping*. Projektet har genomförts inom ramen för uppdraget Industriklivet, förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning.

Syftet med projektet är att utreda möjligheten att uppföra en koldioxidinfångningsanläggning på Torsvik i Jönköping samt ett nav för mellanlagring av koldioxid. Studien kommer att visa på möjliga ekonomiska investeringskalkyler, identifiering av realistiska finansieringsalternativ, de bäst lämpade teknikvalen, nödvändiga tillstånd samt en riskanalys. Studien kommer även undersöka möjligheterna till ett lokalt logistik- och lagringskluster samt, som jämförelse, potentialen för CCU.

Projekt mål

Projektet har delats upp i följande delmål:

- Delmål, AP1: Planlagt en effektiv anläggning för koldioxidavskiljning och förvätskning, i samspel med ackumulatortank, enligt Jönköping Energis kraftvärmeverks förutsättningar.
- Delmål, AP2: Identifierat och utvärderat nutida samt framtida nödvändiga krav och tillstånd avseende koldioxidinfångning, koldioxidtransport och användning av koldioxid.
- Delmål, AP3: Identifierat intressentgrupper och initierat dialoger med lokala företag och aktörer.
- Delmål, AP4: Utrett möjliga logistik- och transportlösningar från avskiljning av koldioxid till och med transport till hamn alternativt till möjlig användning av koldioxiden.
- Delmål, AP5: Jämfört potentialen för Bio-CCS kontra Bio-CCU ur ett kostnads- samt nyttoperspektiv.
- Delmål, AP6: Tagit fram en affärsmodell för en fullskalig Bio-CCS-anläggning. Identifierat risker och kostnader längs hela logistikkedjan fram till koldioxidlagring alternativt användning.

Delmål finns för respektive arbetspaket, AP1–AP6, med vilka projektet är uppbyggt.

Genomförande

Projektet är uppdelat i sex arbetspaket, AP1-AP6, vilka utförs parallellt under projekttiden.

AP1 - Teknik

Arbetspaketet omfattar teknikval för koldioxidavskiljning till och med förvätskning i Bio-CCS-kedjan för Jönköping Energis anläggning Torsvik. En kartläggning av Torsviks specifika förutsättningar görs och skall innefatta driftsförhållanden, lokalisering, rökgasanalyser samt energibalanser för respektive anläggning. Därefter förprojekteras en anläggning utifrån det mest passande teknikvalet baserat på kostnader för drift- och underhåll, ackumulatortankens nyttjande, påverkan på energibalansen, energibehov samt andra identifierade faktorer som framkommer under arbetet med kartläggningen.

AP2 - Tillstånd och krav

Arbetspaketet ansvarar för att utvärdera och identifiera nödvändiga tillståndsprocesser för en Bio-CCS-anläggning på Torsvik. Arbetspaketet ansvarar för att bedriva aktiv omvärldsbevakning och kunskapsinhämtning gällande samtliga aktuella nationella och internationella tillstånd, krav samt lagstiftningar.

AP3 - Kommunikation

Arbetspaketet ansvarar för att identifiera intressentgrupper och deras behov av information. Arbetspaketet ansvarar för projektkommunikationen och identifierade intressenter skall involveras minst en gång under projektets genomförande. Inom arbetspaketet skall också en plan för kompetensutveckling tas fram för anställda hos deltagande organisationer. Arbetspaketet skall producera kommunikationsmaterial, artiklar, seminarium eller annat som bedöms som nödvändigt för att nå de identifierade målgrupperna.

AP4 - Logistik och transport

Arbetspaketet ansvarar för att utreda möjliga logistik- och transportlösningar för koldioxid och mellanlagringskapacitet för potentiell mängd avskild koldioxid. Arbetspaketet utreder möjliga transportsätt från kraftvärmeverket till hamn, exempelvis rörledningar eller tågtransport, samt från hamn till slutlagring. Inom arbetspaketet utreds även kostnader för de olika alternativen. Arbetspaketet skall också ge svar på möjligheter och intresse för ett logistikkluster för Mellansverige.

AP5 - Jämförelse Bio-CCS och Bio-CCU

Arbetspaketet ansvarar för att jämföra potentialen för Bio-CCS kontra Bio-CCU ur ett kostnads- samt nyttoperspektiv. I studien jämförs skillnaderna mellan att lagra koldioxiden mot möjligheten att använda den i tillverkning av bränsle till transportsektorn (CCU). Detta då det redan pågår en satsning på vätgas inom länet där biogen koldioxid kan vara till nytta.

AP6 - Finansiering

Arbetspaketet ansvarar för att ta fram en affärsmodell för en fullskalig koldioxidinfångningsanläggning med förvätskning. Risker och kostnader i hela logistikkedjan fram till koldioxidlagring identifieras. Arbetspaketet ansvarar för att den finansiella basen för fortsatt arbete för koldioxidinfångning i Torsvik.

Arbetspaketet har också till uppgift att följa utvecklingen av styrmedel och bedöma konsekvenserna för Bio-CCS i Torsvik.

Resultat

Projektet påbörjades i juni år 2022 och avslutades i januari år 2024. En omfattande projektgrupp bestående av totalt 15 personer från Klimpo och Jönköping Energi har varit drivande för projektets framgång. Under projektet har konsulter engagerats, och flera företag, både leverantörer och kunder, varit involverade.

Under projektetiden har betydande framsteg gjorts inom områdena Bio-CCS och Bio-CCU, från komplexa begrepp till centrala verktyg, för att uppnå ambitiösa klimatmål. En ny och lovande klimatindustri tar form, och under den intensiva projektetiden har både positiva inslag och utmaningar tydligt framkommit.

Resultaten från varje arbetspaket, presenterade i ordningen AP1 till AP6 (AP5 ingår i AP1 teknik), ger en detaljerad inblick i projektets framsteg och ger en grund för framtida åtgärder och beslut. Resultaten belyser de tekniska, strategiska och operativa aspekterna med Bio-CCUS som är avgörande för att driva projektet mot en framgångsrik implementering.

2. AP1 Teknik

Syftet med AP1 är att utreda förutsättningarna för koldioxidavskiljning och förvätskning i samspel med en ackumulatortank på kraftvärmeverket Torsvik. Underlaget skall bidra till en ökad förståelse för koldioxidavskiljning från rökgaser vid förbränning av avfall och biobränslen med tillhörande förvätskning samt hur den nuvarande verksamheten påverkas med en koldioxidinfångningsanläggning.

I detta arbetspaket kommer tre olika koldioxidavskiljningstekniker vid tre olika driftscenarios att utredas. Resultatet från denna studie skall vara teknoekonomiskt informativ och vägledande med hänsyn till faktorer som kapitalinvesteringar, driftkostnader och energibehov för varje driftscenario.

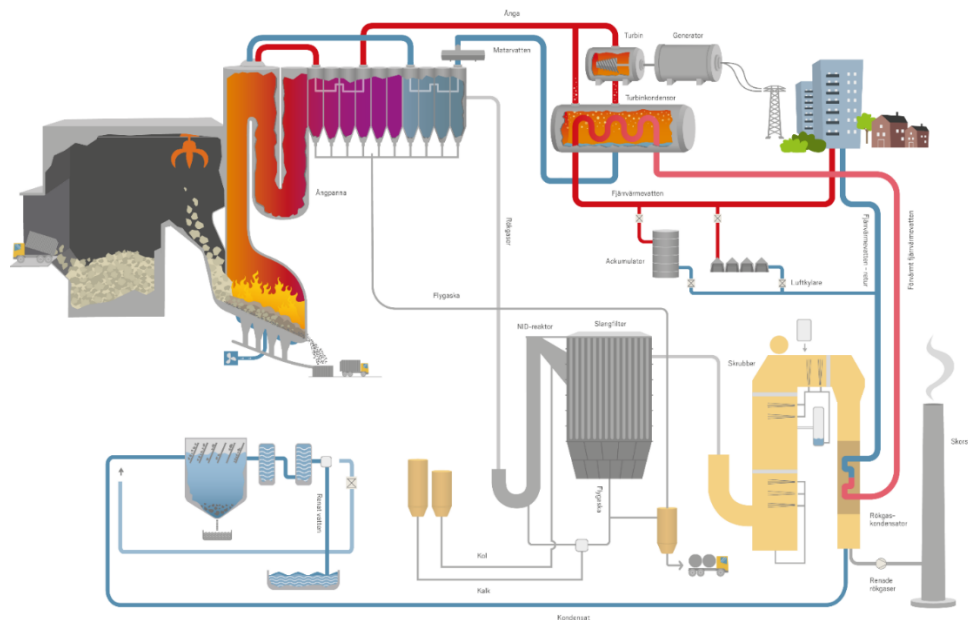
Bakgrund

Kraftvärmeverket Torsvik består av två separata anläggningar, KVVT 1 och KVVT 2 som tillsammans tillgodoser cirka 90 % av det lokala fjärrvärmebehovet i Jönköping, Huskvarna och Bankeryd. I kraftvärmeanläggningen Torsvik produceras även 30 % av den el som används i Jönköping Energis nätområde.

I KVVT 1 förbränns årligen ca 160 000 ton avfall från hushåll, verksamheter och industrier. Rosterpannan har en installerad effekt på 62 MW och genererar 42 bars ånga med en temperatur på 380 °C. Installerad turbineffekt är 16 MW.

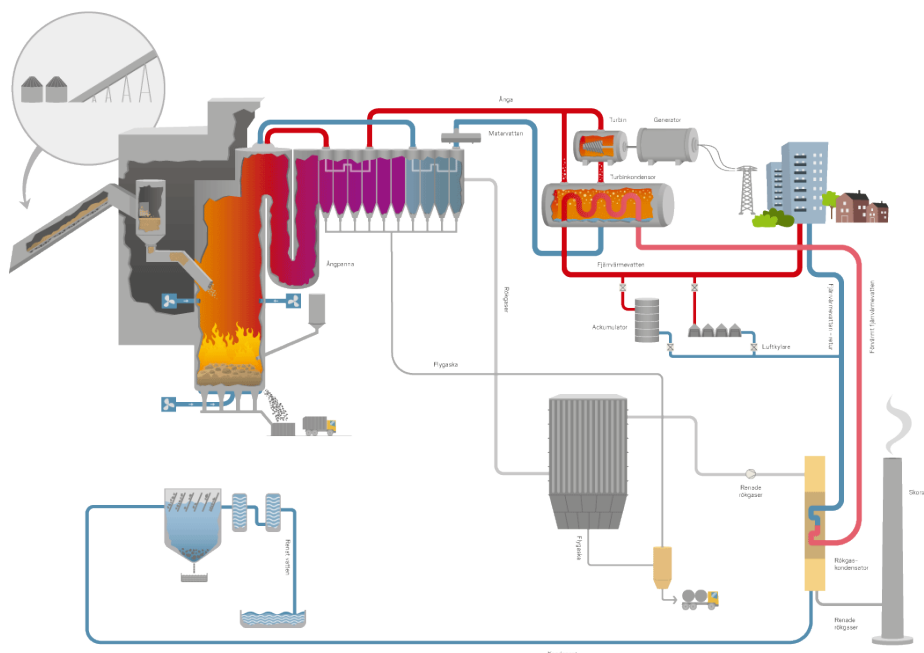
Anläggningen är utrustad med SNCR-system samt två stödoeljebrännare på 20 MW vardera. Anläggningens rökgasrening består av en NID-reaktor, textilfilter samt två skrubbersteg. Rökgaskondenseringen är kopplad till en värmepump.

Efter reningsstegen och rökgaskondenseringen flödar rökgaserna ut ur den 120 meter höga skorstenen. Figur 1 visar en schematisk processbild över KVVVT 1.



Figur 1 Schematisk processbild för anläggningen KVVVT 1.

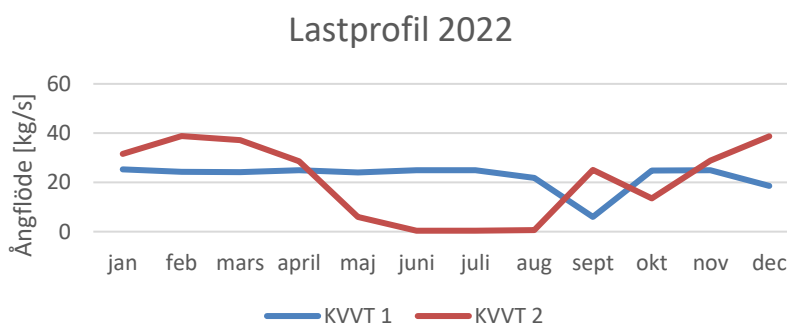
I KVVVT 2 förbränns flisat bibränsle. Förbränningspannan är av typen bubblande fluidiserande bädd med 110 MW installerad tillförd bränsleffekt med ångdata 140 bar, 540 °C. Installerad turbineffekt är 39 MW. Anläggningen är utrustad med ett SNCR-system. Rökgasreningen sker med elfilter och rökgaskondensering. Figur 2 visar en schematisk processbild över anläggningen. Efter studien startades så ökades den angivna tillståndseffekten till 135 MW men resultatet från studien baseras på 110 MW scenariot.



Figur 2 Schematisk processbild för anläggningen KVV2.

I två ackumulatortankar lagras uppvärmt fjärrvärmevatten (95–96 °C). Den äldre ackumulatortanken rymmer ca 6 000 m³ och den nyare ackumulatortanken rymmer runt 39 000 m³. Ackumulatortankarna används för att säkra tillgången på fjärrvärme till nätet vid ökat behov och för överskottsvärme.

Avfallspannan KVV2 1 fungerar som en baslastpanna med ett maximalt ångflöde på ca 25 kg/s. KVV2 2 används vid behov med ett maximalt ångflöde på ca 42 kg/s. Figur 3 visar lastprofilerna för KVV2 1 och KVV2 2 under år 2022.



Figur 3 Årlig lastprofil för KVV21 (Block 1) och KVV22 (Block 2) baserat på ångflöde kg/s.

I Figur 3 ses att KVV2 1 körs med en jämn last över året, men med ett kortare uppehåll för revision och underhåll under september månad. KVV2 2 körs som

mest under de kalla vintermånaderna december, januari, februari och har ett längre revisionsuppehåll över vår/sommar när värme- och elbehovet är mindre.

Total el- och fjärrvärmeproduktion för KVVVT 1 och KVVVT 2 år 2021 och 2022 visas i Tabell 1.

Tabell 1 Total el- och fjärrvärmeproduktion för år 2021 och 2022.

	2021	2022
Elproduktion	(GWh)	(GWh)
KVVVT 1	109	107
KVVVT 2	119	140
Totalt	228	247
Fjärrvärmeproduktion		
KVVVT 1	401	378
KVVVT 2	387	390
Totalt	788	768

Då elbehovet är större och värmebehovet i fjärrvärmenätet är mindre så kyls överskottsvärme bort med luftkylare. Totalt under år 2021 och år 2022 kylde ca 33 GWh överskottsvärme per år vilket motsvarar ca 5 % av den årliga totala fjärrvärmeproduktionen.

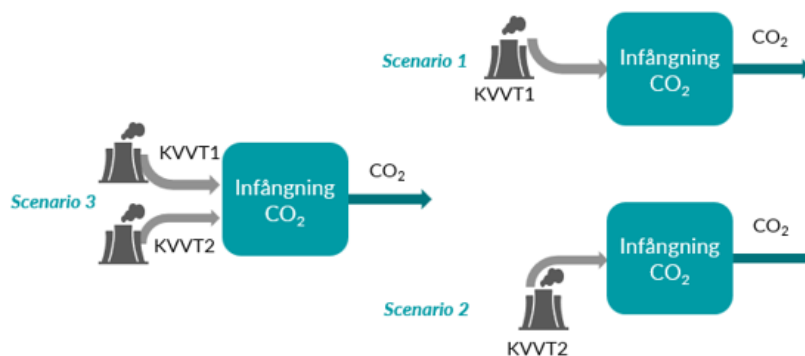
Anläggningsdata

Projektgruppen har tillsammans med RISE utfört mass- och energibalansberäkningar för tre olika koldioxidinfångningsalternativ i Torsvik, scenario 1–3.

Scenario 1: En separat koldioxidavskiljningsanläggning för KVVVT 1 med **104 000 ton biogen CO₂ + 70 000 fossil CO₂**.

Scenario 2: En separat koldioxidavskiljningsanläggning för KVVVT 2 med **162 000 ton biogen CO₂**.

Scenario 3: En koldioxidsavskiljningsanläggning för rökgaserna från både KVVVT 1 och KVVVT 2 med **266 000 ton biogen CO₂ + 70 000 fossil CO₂**.



Figur 4 Scenarios för koldioxidavskiljning för Jönköpings Energi två anläggningar.

I Tabell 2 ses årliga drifttimmar samt mängden koldioxid från KVVVT 1 och KVVVT 2. Den årliga drifttiden för en gemensam anläggning har en kapacitetsvägd drifttid vilket innebär att anläggningen är dimensionerad för att avskilja koldioxid från rökgaserna från KVVVT 1 och KVVVT 2 vid max kapacitet. Under perioder med för låg last kommer inte koldioxid att kunna avskiljas på grund av reglerområdet för avskiljningsanläggningen blir för stort.

Tabell 2 Årliga drifttimmar och koldioxidutsläpp.

Parameter	Enhet	KVVVT1	KVVVT2	KVVVT1+KVVVT2
				Totalt
Årlig drifttid	h	8 265	6 200	Viktad
CO ₂ utsläpp	kton/år	174	162	336

Tabell 3 visar rökgassammansättning från KVVVT 1 och KVVVT 2 som används i studien för mass- och energibalansberäkning för respektive scenario.

Tabell 3 Rökgassammansättning för KVVVT 1 och KVVVT 2 vid full last.

Rökgaser efter RGK	KVVVT 1	KVVVT 2	Enhet
Volym	145 000	200 000	Nm ³ /h
Temperatur	49	32	°C
Tryck	100	187	KPa
Rökgassammansättning			
CO ₂ (torr)	10,6	15,6	% Volym
Vatten	8	5	% Volym
O ₂	5,75	3,9	% Volym
Partiklar	0,2	0,4	mg/Nm ³
CO	20	98	mg/Nm ³
SO ₂	1	3	mg/Nm ³
NO _x	39	120	mg/Nm ³
NH ₃	0,1	0,3	mg/Nm ³

Tabell 3 visar koldioxidkoncentrationen i rökgaserna från KVVVT 1 är 10,6 % och 15,6% för KVVVT 2. En effektiv rökgaskondensering på KVVVT 2 ger en utgående rökgastemperatur efter rökgaskondensorn på 32 °C.

Tekniker

I detta projekt har tekniker enligt Post-combustion-principen även kallad ”end of pipe” installation valts vilket innebär att koldioxidavskiljningen sker från rökgaserna efter samtliga reningssteg, men innan skorsten. Post combustion är den processprincip som är mest beprövad inom området¹.

¹ Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO₂ capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review

Samtliga tekniker i studien sker genom kemisk absorption som baseras på en trycksvingsprocess och/eller en temperatursvingsprocess. I en tryck- eller temperatursvingsprocess nyttjas förändringar i tryck eller temperatur för att avskilja koldioxiden från rökgaserna.

Kemisk absorption innebär att rökgaserna reagerar med en lösningsvätska som selektivt fångar in koldioxiden från rökgasblandningen. Reaktionen kan vara fysikalisk eller kemisk beroende på vilken process som används². Andra rökgaser från förbränningen som mest består av kväve, vatten och syre släpps ut till atmosfären. Processen med kemisk absorption brukar benämnas som en tvåstegsprocess med ett absorptionstorn och ett desorptionstorn. I absorptionstornet reagerar lösningsvätskan med koldioxiden och bildar en ny kemisk bindning. I desorptionstornet så reverseras den kemiska reaktionen med hjälp av värme och tryck vilket innebär att den kemiska bindningen löses upp och koldioxiden frigörs från lösningsvätskan. Avskiljning av koldioxid med kemisk absorption har funnits sedan 1920-talet och har applicerats på flertalet olika industrier för kemiska processer³. En av de mest kostnadseffektiva metoderna för att avskilja koldioxid är med kemisk absorption⁴.

Koldioxidavskiljning på en förbränningsanläggning med Post-combustion principen innebär att stora rökgasvolymerna måste hanteras trots att endast en liten del, ca 10–15 % av den totala rökgasvolymen, utgörs av koldioxid. En stor del av rökgasvolymen består av kväve som kommer från inmatningsluften (21 % syre och 78 % kväve) till förbränningen. Det finns andra tekniker för koldioxidavskiljning som Oxy-fuel där den normala inmatningsluften ersätts med rent syre (100 %) samt recirkulerade rökgaser från förbränningen⁵. Det nödvändiga syret produceras ofta med hjälp av eldrivna elektrolysörer där vatten spjälkas till vätegas och syre. Rökgasflödet efter förbränningen i rent syre blir då mest koldioxid och vatten. Avskiljningstekniker som tillämpar en Oxy-fuel process för koldioxidavskiljning kräver ingrepp och omvandling i befintlig anläggning vilket en Post-Combustion teknik inte gör.

För studien valdes tre tekniker baserat på mognadsgrad, kommersiell tillgänglighet och innovation. Utöver de tre valda koldioxidavskiljningsteknikerna i detta projekt så har projektgruppen även inkluderat utredning av en kryogen teknik som ej innefattar mass- och energibalanser utan resultatet baseras på kalkylestimerade värden.

² Jochen O., Alfons K., (2010) Minimising the regeneration heat duty of post-combustion CO₂ capture by wet chemical absorption: The misguided focus on low heat of absorption solvents 36-43

³ Jennifer W., Reza H., Erik C. R., Jiajun H., Kyoungjin L., (2014) Advancing Adsorption and Membrane-Separation Processes for the Gigaton Carbon Capture Challenge

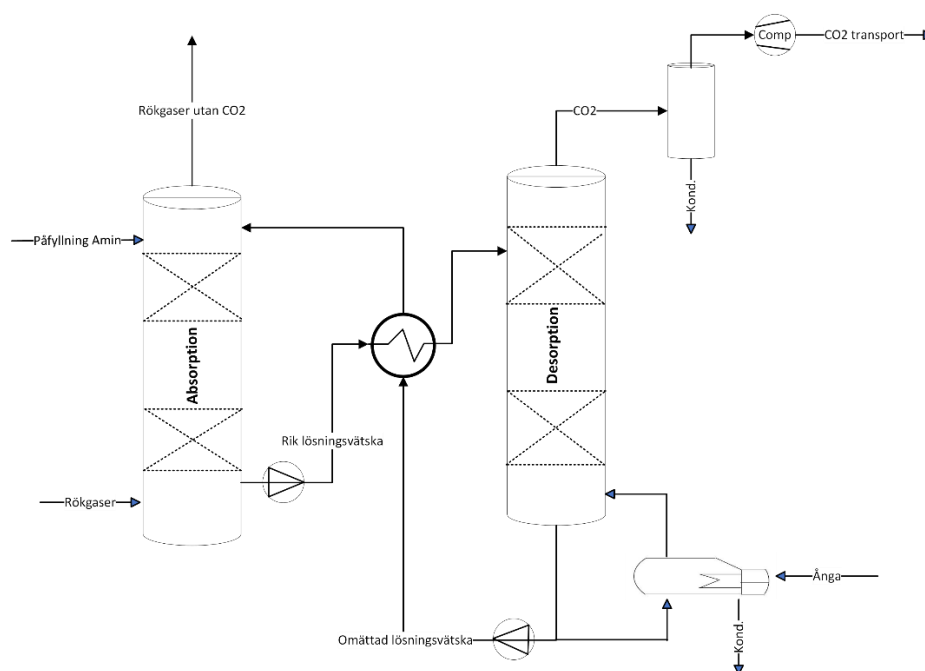
⁴ Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO₂ capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review

⁵ Terry W., Rohan S., Stanley S., (2011) Demonstrations of coal-fired oxy-fuel technology for carbon capture and storage and issues with commercial deployment

Teknik 1 MEA

Monoetanolamin (MEA) har använts länge i industriella applikationer för att avskilja koldioxid från olika gaser. Mycket forskning har gjorts inom MEA och tekniken används ofta som ett riktmärke och referens till dagens nya avancerade och mer innovativa tekniker. Kemisk absorption med MEA-tekniken är till idag den mest använda och mogna tekniken för koldioxidavskiljning inom olika industriella anläggningar⁶.

Avskiljning av koldioxiden med MEA illustreras i Figur 5.



Figur 5 Generiskt processflöde för MEA-tekniken.

Absorption: Processen för att avskilja CO₂ börjar med att rökgaserna från förbränningsanläggningen leds in i ett absorptionsstorn. Hela absorptionsstornet består av packningsmaterial i form av t ex veckad plåt för en så stor reaktionsyta som möjligt samt för att skapa turbulens mellan rökgaserna och lösningsvätskan.

Lösningsvätskan pumpas in i den övre delen av absorptionsstornet och rökgaserna leds in i den nedre delen. Den kemiska reaktionen uppstår när rökgaserna blandas med lösningsvätskan som består av en 30 % Monoetanolaminlösning (MEA). MEA har en hög affinitet för CO₂, vilket gör det möjligt för den att selektivt fånga

⁶ Zhiwu H L., Wichitpan R., Helei L., Kaiyun F., Hongxia G., Fan C., Rui Z., Teerawat S., Amr H., Kazi S., Devjyoti N., Don G., Wayuta S., Chintana S., Abdelbaki B., Mohammed Al-M., Huancong S., Teeradet S., Christine C., Qing Z., (2015) Recent progress and new developments in post-combustion carbon-capture technology with reactive solvents

CO₂ molekyler⁷. När rökgasen kommer i kontakt med MEA sker en kemisk reaktion. CO₂ reagerar med MEA för att bilda en kemisk förening som heter karbamat. Den kemiska reaktionen är exoterm och frigör värme.

Desorption: Efter CO₂ har absorberats i lösningsvätskan så skall den kemiska reaktionen reverseras och koldioxiden skall igen frigöras från lösningen. Detta görs i en process kallad desorption eller stripping. Den mättade CO₂ lösningsvätskan pumpas till toppen på ett desorptionstorn och faller ner i packningsmaterialet. Temperaturen i desorptionstornet är mellan 100–140 °C. I desorptionstornet är temperaturen och trycket justerat till rätt förhållanden så att CO₂ frigörs från lösningsvätskan. Ånga används oftast för att erhålla korrekt mängd värme till desorptionsprocessen, vanligtvis krävs lågtrycksånga ca 1–5 bar. Efter desorptionsprocessen erhålls CO₂ i koncentrerad form tillsammans med en del vatten och kommer i nästa steg att förvätskas inför lagring och transport.

Innan lösningsvätskan skickas tillbaka till absorptionstornet passerar den en reclaimer där värme tillsätts för att ta bort kvarvarande CO₂ och orenheter. Efter det reningssteget kyls lösningsvätskan ner till rätt temperatur för absorptionsprocessen och pumpas tillbaka till absorptionstornet för att påbörja absorption av CO₂ på nytt.

En fördel med MEA är att teknologin är välbeprövad och har forskats på under många år. Tekniken används idag kommersiellt vilket ger tillförlitliga data vid processmodelleringar för att koldioxidinfångning. MEA har en hög affinitet för CO₂ vilket resulterar i att en hög koldioxidavskiljningsgrad uppnås. Vanligtvis över 90 % beroende på de specifika operationella egenskaperna av anläggningen⁸.

En utmaning med MEA-tekniken är dess höga specifika energibehov för att avskilja CO₂ från rökgaserna. Det stora energibehovet sker främst i desorptionssteget då stora mängder värme i form av ånga tillsätts för att reversera den kemiska reaktionen och frigöra koldioxiden från lösningsvätskan. Bland alla tekniker för koldioxidavskiljning så är kemisk absorption den mest mogna tekniken på grund av alla dess goda egenskaper som koldioxidavskiljningsgrad och hög stabilitet. Inom denna teknik så är MEA den lösningsvätska som är mest använd.

Teknik 2 HPC

Även i HPC-tekniken körs två-stegsprincipen med ett absorptionstorn och ett desorptionstorn. I HPC-tekniken avskiljs koldioxiden i en trycksvingsprocess med en lösningsvätska som består av 70 % vatten och 30 % kaliumkarbonat.

Avskiljningsprocessen initieras genom att rökgaserna komprimeras till ett optimalt tryck, vanligtvis mellan 7–15 bar, beroende på hur mycket koldioxid som

⁷ A. Schäffer, K. Brechtel, G. Scheffknecht (2012) Comparative study on differently concentrated aqueous solutions of MEA and TETA for CO₂ capture from fluegases.

⁸ Tharun K., Johanna B., Maximilian B., Simon H., Henrik T (2023) Plant and system-level performance of combined heat and power plants equipped with different carbon capture technologies.

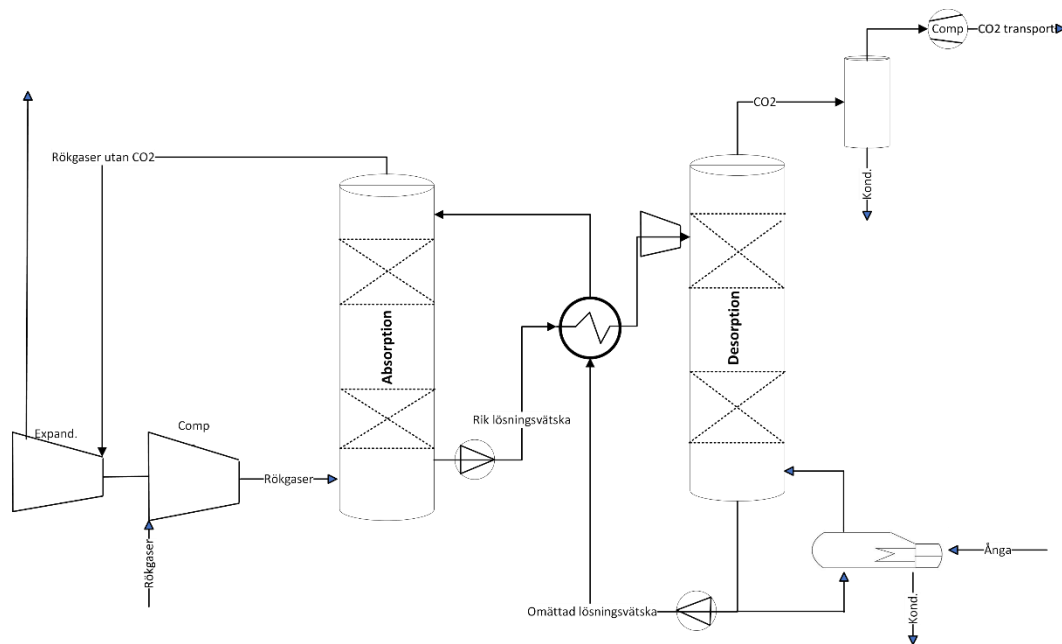
skall avskiljas från rökgaserna. I normalfallet så brukar avskiljningsgraden vara mellan 85–90 %. Rökgaskompressionen sker med en kompressor som drivs av el eller ånga. Kompressionen är nödvändig för lösligheten av koldioxid i kaliumkarbonatlösningen⁹ och för koldioxidavskiljningsgraden. Efter komprimeringen kyls rökgaserna ner till 80–110 °C genom värmeåtervinning. Värmen kan sedan nyttjas internt eller till fjärrvärme. Rökgaserna leds in i botten av absorptionstornet och stiger i uppåtgående riktning och lösningsvätskan leds in i toppen av absorptionstornet med ett nedåtgående flöde som kontinuerligt fylls på. När lösningsvätskan och kaliumkarbonaten reagerar med varandra så bildas kaliumbikarbonat. I botten av adsorptionstornet så sitter en värmeväxlare som håller temperaturen i adsorptionstornet på runt 100 °C och påskyndar infångningen av koldioxid.

Mellan absorptionstornet och desorptionstornet finns värmeväxlare och en turbinexpander i vilken en stor del av komprimeringsenergi återvinns.

Kaliumbikarbonaten leds vidare genom rör och pumpas till toppen av desorptionstornet där vätskan expanderas till atmosfäriskt tryck. Den kemiska bindningen är relativt svag vilket gör att kaliumbikarbonaten återgår till kaliumkarbonat vid atmosfäriskt tryck med en temperatur på ca 100 °C. Värmen till desorptionstornet kommer från lågtrycksånga 3–5 bar.

För den tekniska studien så har simuleringar gjorts med ett rökgastryck på 15 bar för att eftersträva så hög avskiljningsgrad som möjligt för att rättvist kunna jämföras mot MEA som är designad för att uppnå en så hög avskiljningsgrad som möjligt. Rökgaserna i toppen av absorptionstornet leds tillbaka till skorsten via en rökgasexpander där en stor del energi återvinns för kompressionen av rökgaserna. Efter desorptionsprocessen erhålls CO₂ i koncentrerad form och kommer i nästa steg att förvätskas för lagring och transport.

⁹ Guoping H., Nathan N., Kathryn S., Kathryn A. Mumford., Sandra K., Geoffrey S., (2016) Carbon dioxide absorption into promoted potassium carbonate solutions : A review.



Figur 6 Generiskt processflöde för HPC-tekniken.

En fördel med HPC-tekniken är att kaliumkarbonaten inte reagerar med syre i avskiljningsprocessen vilket kan vara en fördel i förbränningsprocesser där syrehalten är väldigt hög. Däremot så reagerar kaliumkarbonaten med SO_x och NO_x och bildar heat stable salts (HSS)¹⁰. I grundutförande så är kaliumkarbonaten väldigt korrosiv. Dock så används inhibitorer för att minska korrosionsangreppen på utrustningen och additiver för att öka reaktiviteten.

I HPC-tekniken kan en stor andel högvärdig energi återvinnas som värme från avskiljningsprocessen. Värmeåtervinningen kan ske i olika delar i koldioxidavskiljningsprocessen och nyttjas som fjärrvärme vilket bidrar till en lägre total kostnad för att avskilja koldioxiden.

Teknik 3 Joniska vätskor

Det finns idag mogna och kommersiella tekniker för att avskilja koldioxid från rökgaser. Merparten av teknikerna är mycket energikrävande och processen har oftast egenskaper som inte är önskvärda inom processen för koldioxidavskiljning som flyktighet, degradation, korrosion och kemisk instabilitet. Därför pågår en del forskning för att ta fram tekniker som är bättre inom dessa områden. Ett alternativ som fått uppmärksamhet senaste åren är Joniska vätskor. Detta ämne består av salter med låg smältpunkt under $100\text{ }^\circ\text{C}$ ¹¹.

Koldioxidavskiljningsprocessen för Joniska vätskor sker, som med MEA- och HPC-tekniken, med kemisk absorption. Initialt komprimeras rökgaserna i

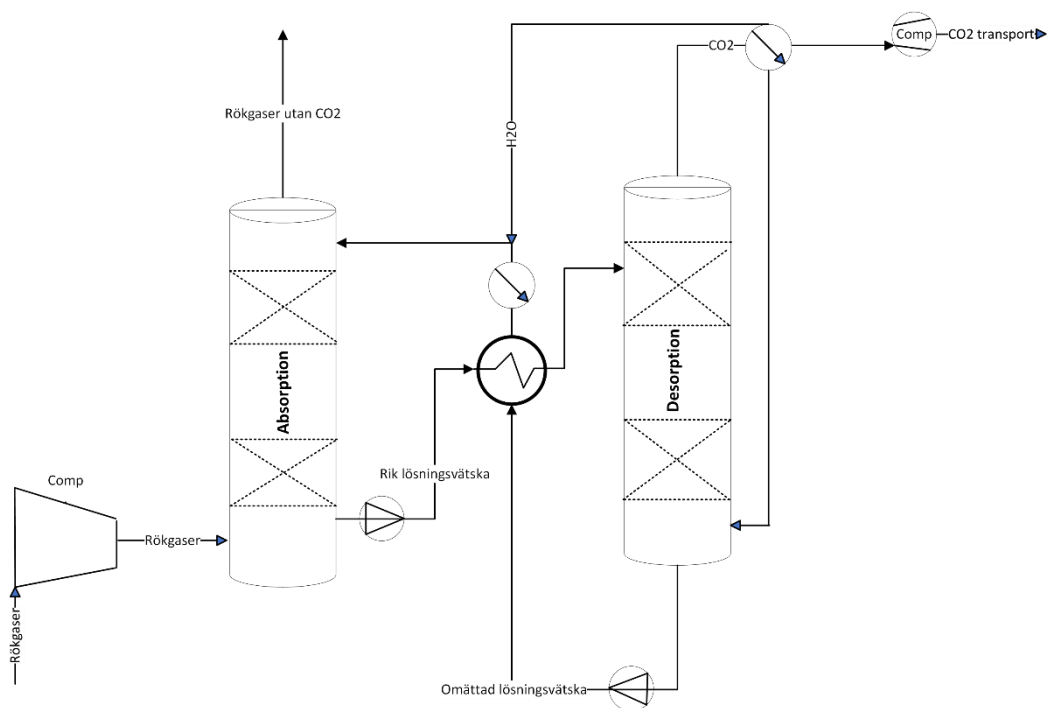
¹⁰ Guoping H., Nathan N., Kathryn S., Kathryn A. Mumford., Sandra K., Geoffrey S., (2016) Carbon dioxide absorption into promoted potassium carbonate solutions : A review.

¹¹ J.G Yao, P.S. Fennell and J.P Hallet (2020) Ionic Liquids Chapter 4

processen för att sedan genomgå en två-stegsprocess med absorption och desorption.

Den komprimerade rökgasen leds in i absorptionstornet i vilken lösningsvätskan reagerar med koldioxiden. Den koldioxidrika lösningsvätskan pumpas vidare från botten av absorptionstornet, förvärms av den utgående regenererade lösningen, till toppen av desorptionstornet. Koldioxiden frigörs i desorptionstornet vid en temperatur på 115–120 °C och koldioxid plus vatten kommer att lämna desorptionstornet i toppen. En del av den koldioxiden kommer att återcirkuleras till desorptionstornet för att agera som en gasbärare.

Den regenererade lösningsvätskan kyls i två steg innan den åter pumpas in i absorptionstornet. Först genom värmeutbyte med desorptionstornets ingående lösningsvätska och sedan med kylare och kylvatten.



Figur 7 Generiskt processflöde för Joniska vätskor.

En utmaning med joniska vätskor är lösningsvätskans höga viskositet¹². I studien så används en lösningsvätska Tetraglyme som komplement till den joniska vätskan [P66614] [CNPyr] AHA (rihexyltetradecylphosphonium 2-cyanopyrrolide) för att få bättre egenskaper och en lägre viskositet.

Tekniken med joniska vätskor är inte en kommersiell produkt, men tekniken är intressant att inkludera i denna studie för dess egenskaper.

¹² Mohammad F., Ebrahim S., (2020) CO₂ absorption by ionic liquids and deep eutectic solvents

Teknik 4 Kryogen teknik

Med kryogen teknik sker koldioxidavskiljningen vid mycket låga temperaturer. Detta för att en fysisk koldioxidavskiljning från rökgaserna skall vara möjlig genom att olika ämnens kokpunkt¹³ nyttjas. Metoden i denna studie baseras på en kryogen teknik som nyttjar aggregationstillstånden för koldioxiden från gasfas till fast form. Det innebär att hela rökgasflödet kyls ned till -120 °C vid atmosfäriskt tryck och koldioxiden faller ut i fast form och separeras från de andra gaserna i rökgassammansättningen. Koldioxiden kan inte förvätskas vid atmosfäriskt tryck, utan om koldioxid skall förvätskas så behöver den trycksättas. För att komma ner i de låga temperaturerna så används andra kryogena vätskor som flytande naturgas, kväve eller argon¹⁴.

Fördelarna med den kryogena avskiljningstekniken är att den inte erfordrar ett förvätskningssteg samt att den levererar en hög avskiljningsgrad med en hög renhetsgrad på den avskilda koldioxiden. Den kryogena tekniken kan avskilja över 98 % av koldioxiden och tar även bort föroreningar som SO_x , NO_x och kvicksilver¹⁵. En annan unik egenskap är att anläggningen kan drifas med ackumulerad kylmedia vilket gör att kylkompressorer kan kopplas bort under perioder för att avlasta elnätet.

En nackdel med tekniken är att den är under utveckling och obeprövad i stor skala. Idag finns det en pilotanläggning där 1 ton CO_2 /dygn avskiljs, men större pilotanläggningar på 30 ton/dag är planerade.

Teknik 5 Membran

Membrantekniken är en avskiljningsteknik där filter (membran) används för att avskilja koldioxiden från olika gasblandningar. Filtren skall ha en hög permeabilitet och selektivitet för att effektivt kunna separera koldioxiden från gasblandningen¹⁶. Membranet avskiljer koldioxiden genom att endast släppa igenom koldioxidmolekyler och därmed hindra andra gaser som syre och kväve från att passera. Tekniken är enkel med få rörliga delar bortsett från en kompressor som krävs för att komprimera gasblandningen för att övervinna partialtrycket. Membranen är känsliga för föroreningar som vatten och partiklar vilket ställer höga krav på reningsanläggning av rökgaserna innan filtret¹⁷. Avskiljningsgraden är ofta betydligt lägre än kemiska absorptionstekniker.

Membrantekniken finns inte kommersiellt tillgänglig ännu, men i juni år 2023 driftsatte SigmaRoc en pilotanläggning för koldioxidavskiljning med Aqualung

¹³ Carolina F. P., David C., Chinonyelum U., (2021) Review of Cryogenic Carbon Capture Innovations and their potential applications

¹⁴ Seyed M. S., L. K., Larry L B., John H., (2015) Investigating the Impact of Cryogenic Carbon Capture on Power Plant Performance

¹⁵ Larry L. B., Stephanie B., Andrew B., (2009) Cryogenic CO_2 Capture as a Cost-Effective CO_2 Capture

¹⁶ Yuexia L., (2011) Experimental Studies on CO_2 Capture using absorbent in a polypropylene hollow fiber membrane contractor

¹⁷ Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R. (2014) Membrane-based carbon capture from flue gas: a review

Carbon Capture AS membranteknik. Projektgruppen var på plats och följer projektet och resultaten.

Förvätskning av koldioxid

För en effektivare och förmånligare koldioxidtransport omvandlas koldioxiden från gasform till flytande form genom förvätskning. Processen för att förvätska koldioxid delas in i två olika metoder:

- Förvätskning med lågtryckskompression och extern kylning.
- Förvätskning med högtryckskompression och expansion.

Förvätskning med lågtryckskompression innebär att koldioxiden komprimeras av en eller flera kompressorer i serie med mellanliggande kylning. Vatteninnehållet i koldioxid gasen separeras gradvis ut genom kondenseringstegen. Den torra koldioxidgasen kyls med ett externt kylmedia som t ex ammoniak till förväntad sluttemperatur. Normalt så brukar tryck och temperatur vara ca 15 bar och -28 °C.

Förvätskning med högtryckskompression följer initialt samma princip som förvätskning med lågtryckskompression med en serie kompressorer, kylare och kondensering av vatten. Skillnaden är att koldioxiden komprimeras till betydligt högre tryck. Efter optimalt tryck uppnått så expanderas gasen, tryck och temperatur sjunker, och koldioxiden förvätskas och blir flytande (Joule Thomson effekten).

Kompressorerna kan drivas med variabel hastighet för att kunna anpassas till olika koldioxidvolymflöden från avskiljningsanläggningen, men det finns begränsningar för lastvariationernas fluktuation. Koldioxiden komprimeras stegvis till lämpligt tryck för att sedan expandera i två steg till lägre tryck. I Tabell 4 ses samtliga antagna designparametrar för förvätskning av koldioxid.

Tabell 4 Designparametrar för förvätskning av koldioxid

Designparametrar	Värde	Enhet
Kompressor 1 utgående tryck	7	bar
Kompressor 2 utgående tryck	12	bar
Kompressor 3 utgående tryck	38	bar
Kompressor 4 utgående tryck	80	bar
Expansion 1	38	bar
Expansion 2	15	bar
Temperatur CO ₂ innan kompression	40	°C

I denna studie antas förvätskningsanläggningen bestå av en serie kompressorer och i fyra kompressionssteg samt två expansionssteg för att uppnå de önskade temperatur- och tryckförhållandena för koldioxidtransport, 15 bar och -28 °C.

Processmodellering och simulering

Processmodelleringen samt mass- och energibalanser utfördes i Aspen Plus och Aspen HYSYS. Båda verktygen erbjuder omfattande bibliotek med termodynamiska modeller och databaser över fysikaliska egenskaper för att stödja modellering av olika kemikalier, lösningsmedel och processförhållanden som är relevanta för teknologier för koldioxidavskiljning med tillhörande förvätskning.

Syftet med processmodelleringen är att utföra mass- och energibalanser för att få fram energiprofiler för respektive scenario för kostnadsuppskattningar.

Mass- och energibalanserna för energiprofilerna utfördes med anläggningsdata, inklusive rökgasspecifikationer, inhämtat från Jönköping Energi. Processmodellering utfördes med specifika värden för MEA, HCP samt Joniska vätskor.

I processmodelleringarna designades MEA och HPC för en hög koldioxidavskiljningsgrad. För Joniska vätskor antogs avskiljningsgraden till 90 %. I Bilaga 1 - Processmodellering ses värden som ingår i processmodelleringen för MEA, HPC och Joniska vätskor. I simuleringarna är det antaget att all restvärme från koldioxidavskiljningsprocesserna > 85 °C kan säljas som fjärrvärme.

Mass-och energibalans - MEA

I Tabell 5 ses resultat från avskiljningsprocessen för MEA. Resultatet visar att avskiljningsgraden av CO₂ är 98,90 % för Scenario 1, endast KVVVT1, och 98,65 % för Scenario 2, endast KVVVT 2. För Scenario 3, KVVVT 1 + KVVVT 2, så blev koldioxidavskiljningsgraden 99,65 %. För en så hög avskiljningsgrad erfordras ett stort absorptionstorn vilket kan ses i Bilaga 1-Processmodellering.

Tabell 5 Prestanda från avskiljningsprocessen MEA

Parameter	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	h	8 265	6 200	Viktad
CO ₂ utsläpp	kton/år	174	162	336
Påfyllning lösningsvätska	kg/tonCO ₂	4,31	4,61	5,48
Avskiljningsgrad CO ₂	%	98,90	98,65	99,65

I en reclamer renas lösningsvätskan kontinuerligt från föroreningar och det uppkomna avfallet behöver deponeras. Mängden avfall och avfallets sammansättning beror på typ av lösningsvätska som används för koldioxidavskiljning samt förbränningsbränslet och dess rökgassammansättning. Generellt så genererar MEA mycket avfall jämfört med mer avancerade aminer som har utvecklats för att minska degraderingstakten¹⁸. Kontinuerlig påfyllning av

¹⁸ C. Nielsen, H Herrman, C Weller, (2012) Atmospheric chemistry and environmental impact of the use of amines in carbon capture and storage CCS.

kemikalier är nödvändig då en del försvinner i reningssteget och ca 4–5 kg MEA krävs per avskilt ton CO₂. För nyutvecklade avancerade aminer erfordras mellan 0,1–0,5 kg/ton CO₂ beroende på rökgassammansättning (tex NO_x och SO_x innehåll) och teknik. Det är en 95 %-ig minskning av det årliga kemikaliebehovet jämfört med MEA. Utvecklingen av mer avancerade aminer pågår för bättre koldioxidavskiljningsgrad, minskat energibehov och för minskad degradering av lösningsvätskan.

Energiprofil MEA

Processen för att avskilja och förvätska koldioxid är energikrävande. Stora volymer rökgaser skall passera avskiljningsprocessen och från denna skall betydande mängder koldioxid avskiljas. I Tabell 6 ses erforderlig energi för el, ånga samt kyla för att avskilja och förvätska ett ton koldioxid med MEA-processen.

Tabell 6 Specifika energibehov för koldioxidavskiljning och förvätskning med MEA-tekniken vid fullast.

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh _{el} /ton CO ₂	0,27	0,22	0,24
Lågtrycksånga	MWh _{te} /ton CO ₂	1,07	1,06	1,09
Kyla	MWh _{te} /ton CO ₂	1,18	0,93	1,04

Elanvändningen för MEA-tekniken är mellan 0,22 – 0,27 MWh_{el}/ton CO₂. Merparten av elbehovet är att driva kompressorer för att kondensera koldioxiden i förvätskningsanläggningen. Resterande används för att driva pumpar, fläktar och andra mindre komponenter i avskiljningsprocessen.

Ånganvändningen för MEA-processen är mellan 1,06–1,09 MWh_{te}/ton CO₂ beroende på scenario. Stora mängder värme krävs för att lösa upp den kemiska bindningen mellan lösningsvätskan MEA och koldioxiden. Kylbehovet för avskiljning och förvätskning är mellan 0,93–1,18 MWh_{te}/ton CO₂. Kylbehovet för Scenario 2 är mindre då rökgaserna efter RGK har en temperatur på 32 °C in till avskiljningsprocessen. För Scenario 1 behöver rökgaserna kylas ned från 50 °C till 40 °C vilket är den erforderliga temperaturen för absorptionssteget.

Värmeåtervinning MEA

Från koldioxidavskiljnings- och förvätskningsprocessen kan värme återvinnas och nyttjas som fjärrvärme. Från MEA-processen återvinns värme från avskiljning- och förvätskningsanläggningen. Värmen från avskiljningsanläggningen anses vara så liten och försumbar i studien att den inte är inkluderad i resultatet. Merparten av restvärmen kommer från gaskompressorerna i förvätskningssteget. I Tabell 7 ses att 0,11–0,12 MWh_{te}/ton CO₂ går att värmeåtervinna från koldioxidinfångningsprocessen.

Tabell 7 Värme från avskiljning- och förvätskningsprocessen.

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Fjärrvärme	MWh _{te} / ton CO ₂	0,11	0,11	0,12

Genom integrering av eldrivna värmepumpar kan den lågvärdiga värmen från koldioxidavskiljningsprocessen uppgraderas till högvärdig värme över 85 °C. Det är dock inte inkluderat i denna studie.

Mass- och energibalans HPC

Avskiljningsgraden för HPC-tekniken är beroende av inkommande tryck på rökgaserna. I studien komprimerades rökgaserna till 15 bar vilket ger en hög avskiljningsgrad på koldioxiden från 93,4–94,6 %.

Tabell 8 Prestanda från avskiljningsprocessen vid full belastning

Parametrar	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	h	8 265	6 200	Viktad
CO ₂ utsläpp	kton/år	174	162	336
Påfyllning lösningsvätska	kg/ton CO ₂	5,31	3,92	3,63
Avskiljningsgrad CO ₂	%	93,48	93,80	94,61

I Tabell 8 ses att HPC-tekniken, likt MEA, behöver en påfyllnad av lösningsvätska mellan 3,63–5,31 kg/ton CO₂. Reningsprocessen för lösningsvätskan fungerar enligt samma princip som för MEA-tekniken med en reclaimers som återvinner och renar lösningen. Det finns olika additiver och katalysatorer som kan användas i HPC-lösningen för att förbättra dess egenskaper vilket kan påverka hur stor mängd avfall som genereras.

Energiprofil HPC

HPC-tekniken som är en trycksvingsprocess är energikrävande i form av el då kompressorer krävs för att trycksätta rökgaserna till 15 bar innan avskiljningsprocessen.

Tabell 9 Specifikt energibehov för koldioxidavskiljning med förvätskning för HPC-tekniken

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh _{el} /ton CO ₂	0,69	0,51	0,57
Lågtrycksånga	MWh _{te} /ton CO ₂	0,38	0,22	0,30
Kyla	MWh _{te} /ton CO ₂	0,91	0,61	0,76

Elanvändningen för avskiljning av koldioxid med HPC-tekniken och förvätskning är för de olika scenarion mellan 0,51–0,69 MWh_{el}/ton CO₂. Ångbehovet är mellan 0,22–0,38 MWh_{te}/ton CO₂ vilket är mindre än för MEA-tekniken vilken

kräver ca 1.06 MWh_{te}/ton CO₂. Kylbehovet för HPC-tekniken är mellan 0,61–0,91 MWh_{el}/ton CO₂.

Värmeåtervinning HPC

Från HPC-processen kan restvärmen nyttjas. I denna studie har det antagits att endast högvärdig värme > 85°C nyttjas och att lågvärdig värme bortses. För HPC-processen finns restvärme från både avskiljnings- och förvätskningsprocessen. I Tabell 10 ses att 0,29–0,46 MWh_{te}/ton CO₂ kan nyttjas som fjärrvärme.

Erforderlig el som krävs för kompressionen av rökgaserna och för förvätskning av den reade koldioxiden går att återfå i form av restvärme.

Tabell 10 Restvärme från avskiljnings- och förvätskningsprocessen

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Fjärrvärme	MWh _{te} /ton CO ₂	0,46	0,29	0,33

Mass- och energibalans Joniska vätskor

För Joniska vätskor så antogs avskiljningsgraden till 90 % (vilket är lägre än för MEA och HPC där en så hög avskiljningsgrad som möjligt eftersträvades). Med Joniska vätskor krävs ingen extern värme för att separera koldioxiden från lösningsvätskan i desorptionstornet.

Energiprofil Joniska vätskor

Då rökgaserna erfordrar kompression krävs ett större elbehov för koldioxidavskiljningsanläggningen. För Joniska vätskor är elbehovet mellan 0,48–0,67 MWh_{el}/ton CO₂ vilket kan ses i Tabell 11. Restvärmen som kan nyttjas till fjärrvärme är mellan 0,19–0,30 MWh_{te}/ton CO₂.

Tabell 11 Specifikt energibehov för koldioxidavskiljning och förvätskning med HPC-tekniken.

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh _{el} /ton CO ₂	0,48	0,57	0,67
Kyla	MWh _{te} /ton CO ₂	1,2	1,2	1,7
Fjärrvärme	MWh _{te} /ton CO ₂	0,19	0,28	0,30

Kylbehovet för Joniska vätskor är stort då lösningsvätskan har en högre värmekapacitet än MEA och HPC-teknikerna. Det innebär att mer energi krävs för att ändra temperaturen på lösningsvätskan. Hur stor del avfall som genereras under processen har inte tagits i beaktning i denna studie och därför är kemikalieförbrukningen okänd.

Energibehov och teknikval

MEA har den högsta avskiljningsgraden, HPC-tekniken har en något lägre avskiljningsgrad och för Joniska vätskor antogs denna till 90 %. Dock är HPC-tekniken bättre lämpad för en avskiljningsgrad på ca 85–90 % då kompressionen

av rökgaserna inte behöver vara lika hög. Det hade även resulterat i ett minskat elbehov med 20–25 %. Dock kan tillsatser i lösningsvätskan öka avskiljningsgraden och bli mer effektiva i framtiden.

Studien har visat att HPC-tekniken har ett lägre ångbehov jämfört med MEA-tekniken. I Tabell 12 ses att MEA är den teknik med lägst elbehov, men högt kyl- och ångbehov. HPC-tekniken kräver mer el, mindre ånga och ger mer restvärme jämfört mot MEA-tekniken. Joniska vätskor har ett stort elbehov, men inget externt ångbehov då den exotermiska reaktionen räcker för att upprätthålla värmebehovet i avskiljningsprocessen. För Joniska vätskor är kylbehovet mycket högt på grund av lösningsvätskans värmekapacitet.

Tabell 12 Jämförelse av resultat från processmodellering för MEA, HPC och Joniska vätskor för Scenario 3 – KVV1 och KVV2 tillsammans.

Scenario 3	Enhet	MEA	HPC	Joniska Vätskor
Avskiljningsgrad	%	99,65	94,61	90
El	MWh _{el} /ton CO ₂	0,24	0,57	0,67
Lågtrycksånga	MWh _{te} /ton CO ₂	1,09	0,30	-
Fjärrvärme	MWh _{te} /ton CO ₂	0,12	0,33	0,30
Kyla	MWh _{te} /ton CO ₂	1,04	0,76	1,7
Absorber höjd/diameter	m	25/8	15/3	15/9
Desorber höjd/diameter	m	8/5	14/4	12/10

Alla tre analyserade tekniker ger restvärme. Med ett kraftvärmeverk finns det möjlighet att kontinuerligt nyttja denna restvärme antingen genom att ladda ackumulatortankar eller genom att nyttja det direkt i fjärrvärmenätet. Dock behöver det göras ytterligare fördjupade analyser för att undersöka integrering och optimering av värmeåtervinningen.

Kostnadsberäkningar

Kapitalkostnaden CAPEX utvärderades med hjälp av Aspen Capital Cost Estimator, som utgår från utrustningskostnaden för de viktigaste komponenterna i processen. Den tillämpar anläggningens installation- och balanskostnader (BoP) för att beräkna CAPEX.

Alla investeringskostnader anpassades för erforderlig processutrustningsstorlek. Inflation justerades efter referensåret 2019 och valutakonverteringsfaktorer på 0,1 och 0,9 användes för att omvandla SEK till EUR samt USD till EUR. Annuitetsmetoden användes för att årligen beräkna CAPEX med antagande om en kalkylränta på 8 % och en ekonomisk livslängd på 20 år. I Tabell 14 ses antagna kostnadsposter för beräkning av drift- och underhållskostnader samt OPEX för en koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning.

Tabell 13 Ekonomiska faktorer för CAPEX

Ekonomiska faktorer	Enhet	Värde
Ekonomisk livslängd	år	20
Kalkylränta	%	8 %
Annuitetsfaktorer	%	10 %
Driftkostnader	%	3 %

Årliga fasta driftkostnader antogs till 3 % av CAPEX. I Tabell 14 antagna driftkostnader uppdelade på energislag, kylvatten och kemikalier. I Tabell 14 ses ett negativt värde för fjärrvärme då det antas att restvärmen från koldioxidavskiljningsprocessen kan säljas som fjärrvärme.

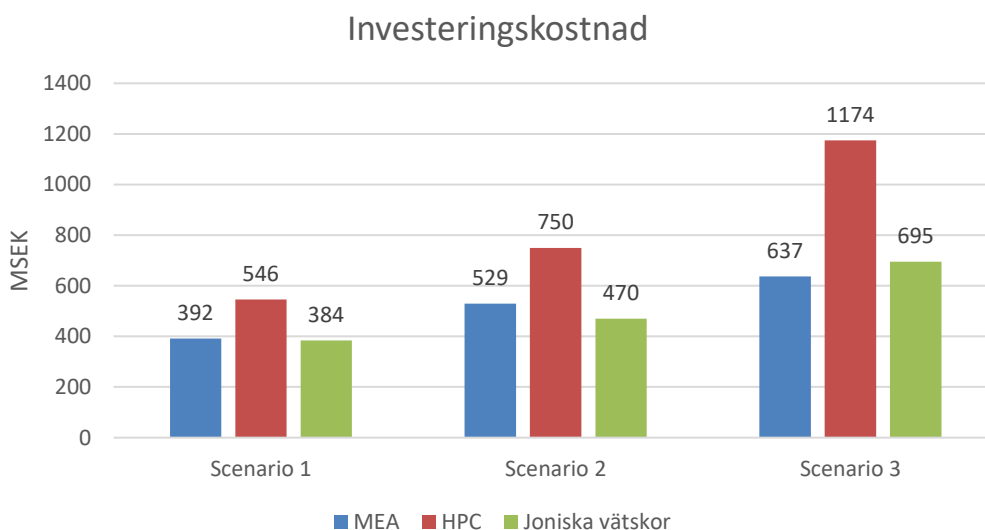
Tabell 14 Antagna kostnadsposter för drift

Typ	Kostnad	Enhet
El	500	SEK/MWh
Lågtrycksånga	375	SEK/MWh
Fjärrvärme	-375	SEK/MWh
Högtrycksånga	400	SEK/MWh
Kylvatten	0,2	SEK/m ³
Påfyllning kemikalier	15 000	SEK/ton

En känslighetsanalys genomfördes för MEA, HPC och Joniska vätskor för att se påverkan på totalkostnaden vid en förändring av CAPEX och variabla driftkostnader. Känslighetsanalysen finns i Bilaga 2 - Känslighetsanalys.

Investeringskostnader

I Figur 8 ses kalkylresultatet för investeringskostnader för respektive teknik och scenario utifrån gjorda antaganden. Kalkylerna visar att Scenario 1 ger de lägsta investeringskostnaderna och Scenario 3 de högsta investeringskostnaderna. Den högre investeringskostnaden motiveras med större processutrustning och att en del komponenter är känsliga för lastvariationer och behöver vara dubbla i antal.



Figur 8 visar investeringskostnader för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor för de tre scenarierna.

Den teknik med högst investeringskostnad är HPC-tekniken och det beror främst på behovet av kompressorer, vilket är en kostsam investering då komponenterna är dyra. Enligt kalkylerna har Joniska vätskor de lägsta investeringskostnaderna.

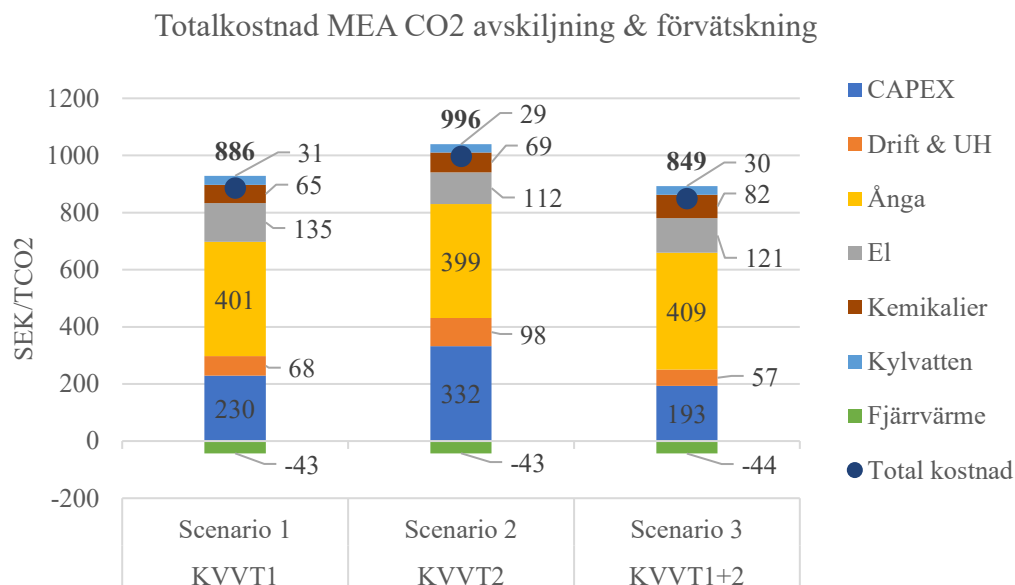
För Scenario 3, koldioxidavskiljning från både KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans, så är den lägsta investeringskostnaden med MEA på 637 miljoner SEK.

Resultat Totalkostnader

För respektive teknik har totalkostnaden beräknats genom summering av CAPEX och OPEX. Totalkostnaderna för respektive teknik presenteras nedan.

Resultat MEA

I Figur 9 ses totalkostnaden för koldioxidavskiljning med förvätskning för MEA. Totalkostnaderna för de olika scenarierna är mellan 849 – 996 SEK/ton CO₂. Den lägsta totalkostnaden för att avskilja ett ton koldioxid är för Scenario 3.



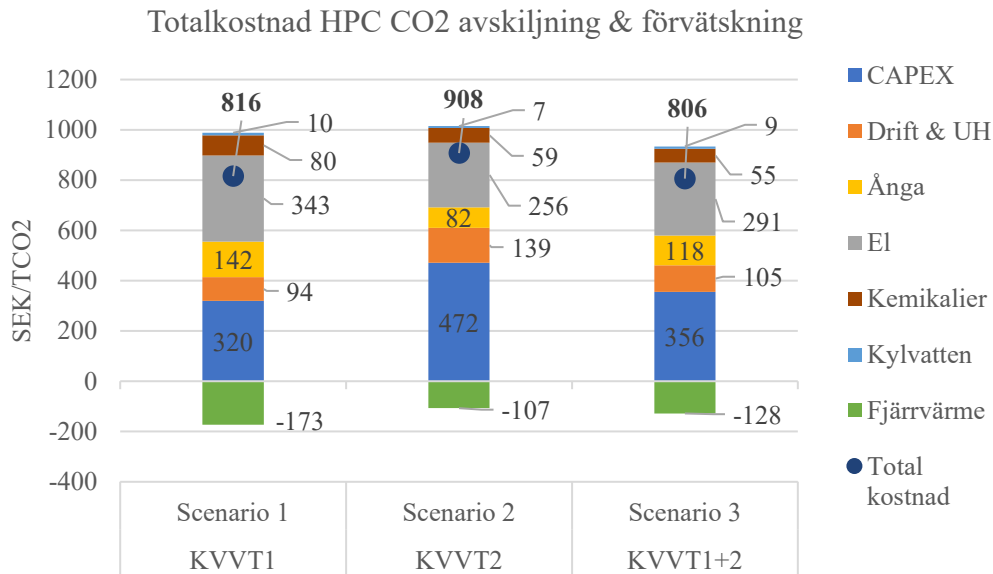
Figur 9 visar totalkostnaden för MEA-tekniken för de olika scenarios.

I alla scenarios är driftkostnaden för ånga den största kostnadsposten följt av CAPEX.

Lastfördelningen påverkar totalkostnaden. KVVT 1 går med en hög och jämn last över året och har därför lägre totalkostnad jämfört med KVVT 2 som har en hög last vintertid och ingen last sommartid. Detta trots att koldioxidkoncentrationen i rökgaserna är högre i KVVT 2 på 15,6 % jämfört med KVVT 1 på 10,6%.

Resultat HPC

I Figur 10 ses totalkostnaden för koldioxidavskiljning med förvätskning för HPC-tekniken. Lägst totalkostnad har Scenario 3 med 806 SEK/ton CO₂ och högst totalkostnad har Scenario 2 med 908 SEK/ton CO₂.

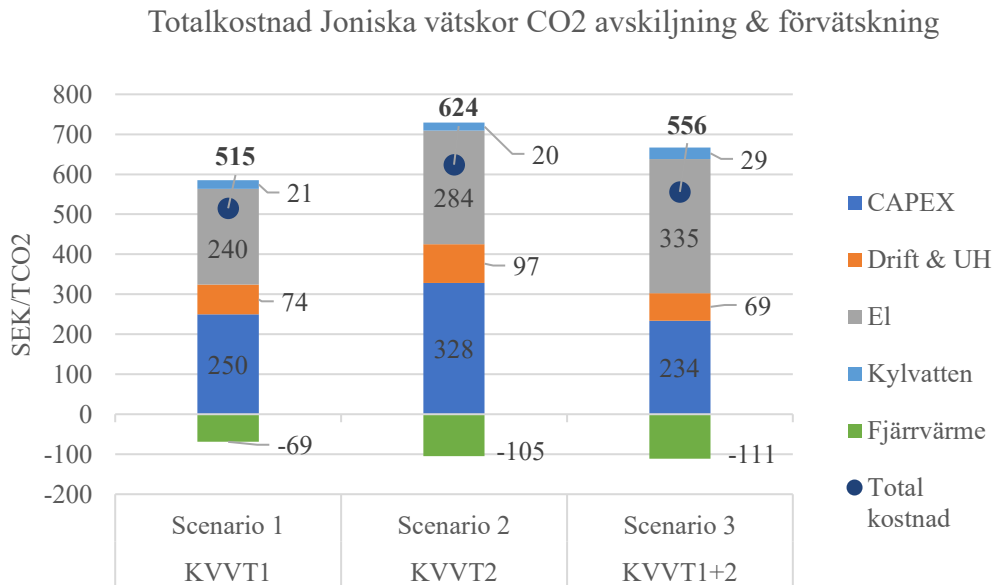


Figur 10 visar totalkostnaden för HPC-tekniken för de olika scenarios.

De ekonomiska beräkningarna har visat att investeringskostnaden (CAPEX) för HPC – tekniken (se Figur 8) är betydligt högre jämfört mot de andra teknikerna. CAPEX och elanvändningen utgör de enskilt största kostnadsposterna för HPC. HPC-tekniken levererar mer värme jämfört med MEA, vilket medför att totalkostnaden minskar om värmen kan säljas som fjärrvärme.

Resultat Joniska vätskor

Kostnadsberäkningarna för Joniska vätskor har en betydligt större osäkerhetsmarginal jämfört med MEA och HPC-tekniken. Tekniken är fortfarande under utveckling och har inte funnits i kommersiellt tidigare. I Figur 11 ses totalkostnaden för Scenario 1 är lägst med 515 SEK/ton CO₂ och högst för Scenario 2 med 624 SEK/ton CO₂.



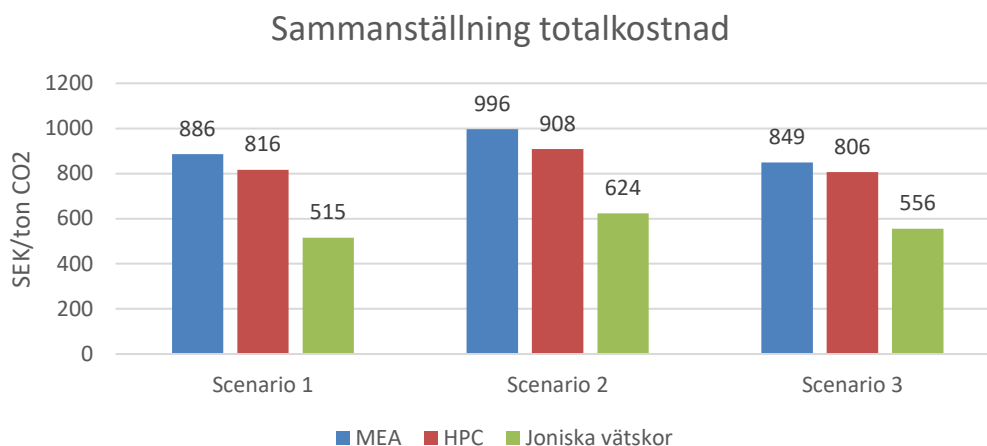
Figur 11 visar totalkostnaden för Joniska vätskor-tekniken för de olika scenariot.

Scenario 2 med koldioxidavskiljning endast från KVVT 2 har en högre totalkostnad då CAPEX är högt och antal drifttimmar är färre än i Scenario 1. För Joniska vätskor så är det CAPEX och elbehovet som mest bidrar till totalkostnaden.

Även denna teknik visar på skalfördelar och CAPEX är som lägst för Scenario 3. Trots den höga kyleffekten som krävs för Joniska vätskor (mellan 1,2 – 1,7 MWh_{te}/ton CO₂) så påverkar det inte totalkostnaden anmärkningsvärt.

Totalkostnad och teknikval

I Figur 12 ses sammanställning av totalkostnaderna. För de kommersiella teknikerna MEA och HPC ger Scenario 3 lägst totalkostnad.



Figur 12 visar totalkostnaden för MEA, HPC och Joniska vätskor för alla scenarios i studien.

Studien visar att det finns skalfördelar vid uppförande av en koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning då Scenario 3 har de lägsta totalkostnaderna för MEA och HPC. Dock gäller detta ej Joniska vätskor, men osäkerhetsfaktorn är stor för dessa beräkningar och därmed resultatet.

Kryogen teknik

Inom projektet gjordes en budgetoffertförfrågan till en teknikleverantör av Kryogen teknik för koldioxidavskiljning. För budgetofferten gjordes antaganden på att totalt 270 000 ton biogen koldioxid skall avskiljas per år, koldioxidkoncentrationen är ca 13 % och med en avskiljningsgrad på 90 %.

Den totala investeringskostnaden uppges vara 86 800 USD. En valutakonverteringsfaktor på 1,1 användes för att omvandla SEK till USD vilket ger en investeringskostnad på ca 954 MSEK.

Den kryogena avskiljningsprocessen för koldioxid drivs enbart med el och har inget behov av extern värme. Det specifika elbehovet är angivet till att vara 0,31 MWh/ton CO₂.

En utmaning med tekniken är att det inte finns fullskaliga anläggningar idag och att en uppskalning av tekniken inte är linjär vetenskap. För att applicera Kryogen teknik för koldioxidavskiljning så erfordras storskaliga tester. Tekniken finns idag endast i mindre pilotanläggningar, men en större pilotanläggning för ca 30 ton CO₂/dag är under uppbyggnad. Mer om den kryogena tekniken finns i Bilaga 3 – Kryogen teknik.

Anläggningsyta

Flera faktorer påverkar storleken på erforderlig anläggningsyta för en koldioxidavskiljnings- och förvätskningsanläggning. Typ av teknik, avskiljningsgrad, kylsystem, renhetsgrad, värmepumpsintegrering är exempel på några faktorer som påverkar anläggningsytan. För avskiljningsprocesserna i denna studie så är det antagen en anläggningsyta ca 5 000 m² som har en kapacitet att

avskilja ca 340 000 ton koldioxid på Torsvik. Det finns dock leverantörer idag som levererar mer kompakta koldioxidavskiljningsanläggningar.



Figur 13 Visar översiktsbild över Torsvik kraftvärmeverk och estimerad krävd anläggningsyta för avskiljning och förvätskning från både KVV1 och KVV2.

Under de senare åren har modulbaserade lösningar börjat produceras där komponenterna i anläggningarna är standardiserade. De ger kompakta avskiljningsanläggningar med en kortare leveranstid. Aker Carbon Capture är ett exempel på företag som levererar standardiserade moduler. För en avskiljningsanläggning från Aker Carbon Capture som klarar av att avskilja 100 000 ton koldioxid per år är storleken runt 500 m². Aker har även en modul som kan avskilja upp till 400 000 ton där krävd anläggningsyta är ca 1 650 m². För en förvätskningsanläggning så krävs ungefär lika stor yta.

Carbon Clean är ett annat företag som använder sig av Rotary Packed Bed (RPB) i stället för traditionella absorb- och desorptionstorn där företaget anger att storleken är upp till 10 gånger mindre än traditionella komponenter. En RPB innehåller en skiva av packningsmaterial som roterar kring sin axel. Centrifugalkraften som genereras av rotationsrörelse i packbädden är betydligt större än den gravitationskraft som ses i konventionella torn med packningsmaterial vilket ger en effektivare massöverföring för RPB.

De flytande filmerna och dropparna som skapas i packningsmaterialet hos en RPB är tunnare jämfört med konventionella torn, vilket genererar i en större kontaktyta mellan rökgaserna och lösningsvätskan. Det resulterar i snabbare och högre massöverföringseffektivitet mellan gas- och vätskefaserna. En effektivare massöverföring ger mindre erforderad anläggningsvolym vilket gör att en RPB kan vara upp till 10 gånger mindre än traditionella absorptionstorn. En RPB har dock mer underhållskostnader då konstruktionen är mer komplex. Relevanta modeller

är under utveckling och inte lika väldefinierade som för konventionella packningstorn.

Jämförelse Bio-CCS och Bio-CCU (AP5)

I växters fotosyntes omvandlas koldioxid, ljusenergi och vatten till druvsocker och syrgas. Vid förbränning av växter, biobränsle, så frigörs koldioxiden och nya växter kan ta upp denna koldioxid. Kolet cirkulerar i ett ständigt kretslopp och inget försvinner eller tillförs.

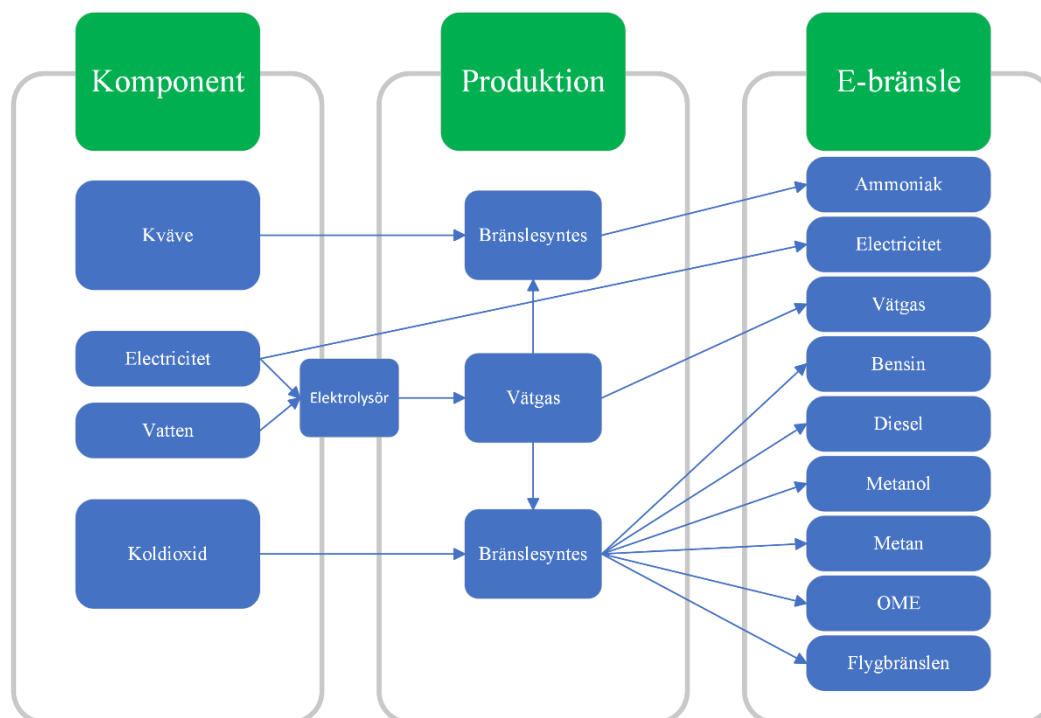
Fossila bränslen består av växter som lagrats i marken i miljontals år. Vid förbränning av dessa bränslen så tillförs koldioxid till atmosfären. Det förstärker växthuseffekten.

Efter koldioxiden har avskilts och förvätskas från rökgaserna på ett kraftvärmeverk eller vid annat punktutsläpp så finns det två alternativa slutdestinationer.

1. Bioenergy Carbon Capture and Storage (Bio-CCS) vilket innebär att koldioxiden lagras permanent i geologiska formationer på land eller till havs.
2. Bioenergy Carbon Capture and Utilization (Bio-CCU) vilket innebär att koldioxiden används för att producera en produkt som tex vid kemiska processer, matproduktion, elektrobränslen (e-bränslen) eller byggnationsmaterial.

Båda alternativen kommer att vara nödvändiga för att Sverige skall nå sina klimatmål.

Elektrobränslen, e-bränslen, kan idag produceras utan inblandning av fossila källor. I Figur 14 ses vilka komponenter som krävs för att producera olika typer av elektrobränslen.



Figur 14 Visar ett förenklat schema över produktion av olika e-bränslen.

Med dagens teknik går det att producera och ersätta flertalet av de fossila bränslena som finns på marknaden. För att få ned produktionskostnaderna så krävs det att flera anläggningar byggs och att tillgången på förnybar el och biogen koldioxid är god.

Om koldioxiden skall användas till produktion av gröna e-bränslen så är det viktigt med fossilfri koldioxid. Det gäller även väte som endast får produceras med förnybar energi och ursprung.

Om tillverkning av e-bränslen sker på plats i Torsvik så innebär det att nuvarande anläggning blir klassad som en kemisk processindustri, med andra lagkrav och regler. Tillgången på förnybar el behöver vara god då elbehovet är stort för produktion av e-bränslen. Electrolysörerna som används för att utvinna väte från vatten erfordrar stor eleffekt.

Företaget European Energy nämner att en Power-to-X anläggning som producerar e-bränsle behöver ha tillgång till ca 200 MW el, vilket innebär att begränsningar i elnätet även påverkar vart en sådan anläggning kan byggas. De e-metanolanläggningar som byggs i Sverige idag är därför placerade i norra delen av landet inom elområde SE1 där elen är billigare än övriga elområden i Sverige.

Andra krav för produktion av e-bränslen är tillgång på vatten, infrastruktur, renhetsverk och närhet till hamn. Produktionsanläggningen kräver 10–15 hektar yta och området behöver vara ett industriområde som klarar säkerhetskraven för en kemisk anläggning.

Koldioxidproducenterna behöver inte äga den kemiska anläggningen för produktion av syntetiska bränslen utan koldioxidprodukten kan säljas till en annan aktör. European Energy uppskattar att koldioxidbehovet är runt 150 000 – 200 000 ton CO₂/år/Power-to-X anläggning.

Behovet och efterfrågan av e-bränslen är, och kommer att vara, stort då bland annat transportsektorn behöver ställa om och minska koldioxidutsläppen. Sjöfarten och flygindustrin kommer att ha en stor påverkan på utsläppsminskningar. Sverige har resurser för att producera hållbara bränslen givet att effektiva styrmedel finns på plats.

För sjöfarten kommer e-metanol att vara av stort intresse för att fasa ut den fossila olja som idag driver fartygen. Tunga transporter som lastbilar kommer troligtvis inte att använda e-metanol, utan av olika flytande alternativ som lämpas bättre för dieselmotorer utan att modifikationer krävs, enligt svar från F3s innovationskluster som driver frågor kring biodrivmedel i transportsektorn.

Minusutsläpp skapas vid permanent lagring av infångad biogen koldioxid (Bio-CCS). Det innebär att infångad och lagrad koldioxid från biogena utsläpp minskar koldioxidvolymerna i atmosfären. För att Bio-CCS skall, utöver att minska koldioxiden i atmosfären, bidra till ekonomiska vinster så behöver ett handelssystem för minusutsläpp/kolkrediter att upprättas. Företag som gjort utsläppsminskningar så långt det är möjligt kan behöva köpa kolkrediter för att kompensera för svåråtkomliga utsläpp. Det innebär att en installation av Bio-CCS kan bidra till en ekonomisk vinst för företaget som fångar in och lagrar koldioxiden. Bio-CCU innebär direkt en vinst då koldioxiden säljs och används för att skapa nya produkter på marknaden.

Till skillnad från Bio-CCS, med vilken koldioxiden minskar i atmosfären, så cirkuleras kolet i en kolcykel när Bio-CCU upprättas eftersom kolet används (Carbon farming). Olika produkter ger olika omsättningstider för kolcykeln. Produkter som binder kolet vid t.ex. en byggnation håller kolet inbunden längre jämfört med produkter som bränslen och drivmedel där omsättningen till atmosfären sker snabbare.

En annan viktig aspekt är renhetsgraden på koldioxiden. Kvalitén på den avskilda koldioxiden beror på faktorer som vilken typ av bränsle, förbränningsegenskaper och vilken typ av teknik som avskiljer koldioxiden från rökgaserna. Kvalitetskraven definieras av begränsningarna som sätts av koldioxidtransportören, lagringsaktören, koldioxidbrukaren, säkerhet- samt miljöregler samt kostnader.

Inför valet av koldioxidavskiljningsteknik från rökgaser så är det viktigt att i ett tidigt skede bestämma hur koldioxiden skall användas som slutprodukt och säkerställa att de renhetskrav som ställs möts. Merparten av avskiljningsteknikerna som finns på den kommersiella marknaden idag levererar redan en koldioxidprodukt med hög renhetsgrad. Det är viktigt att undersöka vilka modifikationer som eventuellt behöver göras på tekniker ifall nuvarande kravspecifikation behöver förändras.

Slutlagringsaktörer som t ex Northern Lights har kvalitetskrav på koldioxiden vilket kan ses i Tabell 15. Northern Lights som är en del i Longship-projektet och finansieras bland annat via norska staten planerar att börja lagra koldioxid med start år 2024.

Tabell 15 visar kvalitetskrav för Northern lights när koldioxiden skall permanent lagring i en salin akvifär (geologisk formation).

Komponent	Koncentration, ppm (mol)
Vatten (H ₂ O)	≤ 30
Syre (O ₂)	≤ 10
Svaveldioxid (SO _x)	≤ 10
Kväveoxid/Kvävedioxid (NO _x)	≤ 10
Vätesulfid (H ₂ S)	≤ 9
Kolmonoxid (CO)	≤ 100
Aminer	≤ 10
Ammoniak (NH ₃)	≤ 10
Väte (H ₂)	≤ 50
Formaldehyd	≤ 20
Acetaldehyd	≤ 20
Kvicksilver (Hg)	≤ 0.03
Kadmium (Cd), Tallium (Tl) Summa	≤ 0.0

Det samma gäller för producenter av e-bränslen som European Energy. Det finns uppenbara skillnader bland de olika kvalitetskraven vilket ses i Tabell 16.

Tabell 16 visar kvalitetskrav för European Energy när koldioxiden skall gå till tillverkning av e-metanol.

Komponent	Koncentration
CO ₂ :	≥ 99,99 %vol
Totalt svavel (H ₂ S, COS, CS ₂ , terpener, mercaptaner)	<10 ppbv
NH ₃ , NO _x	<1 ppmv (helst mindre)
VOC + ketoner:	<1 ppmwt
Aminer	<1 ppmv
Syre	<10 ppmv
Kväve + metan (inert):	<100 ppmv
Klorider:	NIL

Vid jämförelse mellan kvalitetskraven från Northern Lights och European Energy så ses det i Tabell 15 att kvalitetskraven är lägre jämfört med kvalitetskrav från European Energy i Tabell 16. Dock så har Northern Lights uppgett att deras specifika renhetskrav på koldioxiden kommer att ändras och ny information kommer att komma ut under första kvartalet år 2024. Vid en intervju med European Energy så nämnde de dock att en möjligt för en viss flexibilitet i koldioxidens renhetsgrad. Eventuellt erfordras ytterligare destillering av koldioxiden för att möta e-bränsleproducenternas krav.

Leverantörer som idag producerar och levererar koldioxidavskiljningsanläggningar med processer som innebär kemisk absorption

ger oftast en hög standardkvalitet, food grade quality, vilket innebär att koldioxiden har en renhet >99,5 %. För en renhet på 99,99 % vilket är angett i Tabell 16 så är utmaningarna betydligt större och standardiserade moduler kommer inte att vara tillräckliga utan ytterligare reningssteg kommer att vara nödvändiga att implementera. Det innebär ökade kostnader, men totalkostnaden per ton avskild koldioxid kommer endast att påverkas lite.

Då KVVVT 1 är en avfallspanna och KVVVT 2 är en biobränslepanna så kan det vara fördelaktigt att installera separata avskiljningsanläggningar beroende på hur kommande lagstiftning för e-bränslen blir och hur specifikationskraven kommer att vara framöver. KVVVT 1 med ca 180 000 ton (biogen + fossil koldioxid) kan användas för CCS för att undkomma ETS-kostnaden. Biobränsleeldade KVVVT 2 kan användas för Bio-CCU som vid t ex e-bränsleproduktion.

Diskussion teknik

Resultatet från studien visar hur koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning hade påverkat och förändrat Jönköping Energis nuvarande produktionsanläggning. Mass- och energibalansberäkningarna visar på stora energibehov för att avskilja och förvätska koldioxiden från rökgaserna oavsett vald teknik. Stora rökgasvolymerna behöver renas och stora volymer avskild koldioxid upp till ca 340 000 årligen (270 000 biogen koldioxid och 70 000 fossil koldioxid) avskiljs.

Idag finns inget regelverk som kravställer avskiljningsgraden i en koldioxidavskiljningsanläggning. Därför behövs en avvägning göras mellan investerings- och driftkostnaden för en kostnadsoptimal avskiljningsgrad. Från teknikleverantörssidan anges normalt 85–90 % avskiljningsgrad. Om ett behov uppstår att fånga in de resterande procenten koldioxid från rökgaserna blir anläggningarna större och mer komplexa vilket leder till ökade kostnader.

Samtliga tekniker i studien utgår från ett grundutförande och processmodelleringen utfördes för att uppnå en hög avskiljningsgrad utan optimering och integrering i nuvarande anläggning. MEA-tekniken är bra vid begränsad tillgång på el och om det finns en överproduktion av ånga (värme). HPC-tekniken har ett högt elbehov med en viss del ångbehov, men tekniken kan vara helelektrisk vilket innebär att krävd ånga till processen produceras internt med hjälp av flash/avspänningskärl som sänker kokpunkten och producerar ånga. Att välja en helelektrisk HPC-teknik innebär ett ännu högre elbehov jämfört med en konventionell HPC. Joniska vätskor har störst el- och kylbehov jämfört med MEA och HPC.

I Tabell 17 ses bedömning av effektbehovet för MEA, HPC samt Joniska vätskor. En prick motsvarar ett sämre betyg och tre prickar motsvarar ett bra betyg.

Tabell 17 Bedömning av effektbehovet för MEA, HPC och Joniska vätskor.

Teknik	El	Ånga	Kyla	Export värme	Totalt
MEA	●●●	●	●	●	6 st
HPC	●	●●	●●	●●●	8 st
Joniska vätskor	●	N/A	●	●●	4 st

För att avskilja och förvätska koldioxid från KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans (Scenario 3) så är det totala el- och ångbehovet 1,33 MWh/ton CO₂ med MEA-tekniken, 0,87 MWh/ton CO₂ för HPC och 0,67 MWh/ton CO₂ för Joniska vätskor (enbart elektricitet). MEA är den teknik som kräver minst el i studien.

Värmebehovet i form av lågtrycksånga (3–5 bar) är högst för MEA med 1,09 MWh/ton CO₂. HPC kräver en mindre mängd lågtrycksånga med 0,3 MWh/ton CO₂ och Joniska vätskor har inget behov av någon extern lågtrycksånga.

Kylbehovet är stort för MEA och Joniska vätskor men mindre för HPC. En integrering av värmepumpar i processerna för koldioxidavskiljning med förvätskning kan minska kylbehovet och omvandla lågvärdig värme <85 °C till högvärdig värme >85 °C. Det är dock ej med i beräkningarna i denna studie utan rekommenderas att vara med i en uppföljande optimerings- och integreringsstudie.

MEA-tekniken består av en lösningsvätska som funnits länge på marknaden med utmärkta egenskaper för koldioxidavskiljning, men med ett högt energibehov. På marknaden finns idag nya avancerade aminer (lösningar) som erfordrar betydligt mindre värme vid regenerering av lösningsvätskan i avskiljningsprocessen och är mer motståndskraftig mot föroreningar. MEA ingick i studien då tekniken är välkänd, resultaten pålitliga och för att MEA ofta används som referenspunkt för andra mer innovativa och moderna tekniker.

Investeringskostnaden för Scenario 3 med koldioxidavskiljning från både KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans är 1 174 MSEK för HPC och 637 MSEK för MEA. Den stora skillnaden i investeringskostnad vid jämförelse mellan HPC och MEA är att HPC-tekniken erfordrar kostnadsstunga komponenter i avskiljningsprocessen som kompressorer. Från en leverantör av Kryogen koldioxidavskiljningsteknik erhöll projektgruppen en kostnadsuppskattning för investeringskostnaden på 954 MSEK med en osäkerhetsmarginal då tekniken inte finns i fullskala idag. Dock är investeringskostnaden för Kryogen teknik lägre än för HPC.

Investeringskostnaden för Joniska vätskor är betydligt mer osäker jämfört med MEA och HPC då tekniken fortfarande är outvecklad.

Beräkningarna visade att det finns skalfördelar att bygga en avskiljnings- och förvätskningsanläggning för KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans, en större anläggning ger lägre kostnad per avskilt ton koldioxid. Kostnadsberäkningarna för MEA och HPC visade att Scenario 3 hade den lägsta totalkostnaden. För MEA var totalkostnaden 849 SEK/ton CO₂ och för HPC 806 SEK/ton CO₂. Skillnaden är liten i förhållande till avskiljningsteknikernas olikheter och osäkerhetsmarginaler.

Känslighetsanalyserna i Bilaga 2 visar hur totalkostnaden förändras för de olika teknikerna vid en förändring i CAPEX eller driftkostnaderna. För MEA ger en förändring i CAPEX och lågtrycksånga störst utslag på totalkostnaden. För HPC och Joniska vätskor är det CAPEX och elbehovet som ger störst förändring i totalkostnaden. Totalkostnaden minskar vid en högre nyttjandegrad av pannorna. Om en panna som går jämnt med hög last fås en lägre totalkostnad jämfört med en panna som går med lägre last med högre koldioxidkoncentration i rökgaserna.

MEA är den teknik som i grundutförandet hanterar lastförändringar bäst med ned till 30 %. HPC-tekniken är på grund av alla kompressorer och deras reglerområde sämre i den aspekten och klarar ner till 70 % last. Under 70 % last så behöver HPC-tekniken recirkulera rökgaserna i processen, vilket innebär att kompressorn utför samma arbete, men mindre rökgasvolym flödar igenom avskiljningsprocessen. OPEX-kostnaden ökar då. Eftersom KVVVT 2 går med en varierad last över året så lämpas ej HPC-tekniken för denna panna utan är mer passande en panna med lastprofil som KVVVT 1.

En anläggning dimensionerad för full kapacitet från både KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans kommer under delar av året inte att fungera på grund av dess reglerområde. Parallella komponenter kan installeras för att anläggningen skall kunna vara i drift och hantera laster, men trots det så är det inte en optimal ekonomisk lösning. Därför är dimensioneringsfrågan viktig att ta upp tidigt i kommande studier.

Under projekttiden har utvecklingen inom Bio-CCUS-området varit stort och flera pilotanläggningar har byggts i vilka olika koldioxidavskiljningstekniker har testats. Några fullskaliga projekt i Norden är under uppbyggnad, men det dröjer innan kostnadskalkyler och koldioxidavskiljningsresultat från dessa projekt finns tillgängliga. Processmodellering med MEA och HPC ger mer pålitliga resultat då teknikerna har använts kommersiellt, men projektgruppens bedömning är att osäkerhetsfaktorerna fortfarande är stora. Även när projektgruppen haft diskussioner med företag som påbörjat upphandling av kommersiella koldioxidinfångningsanläggningar så bekräftar de osäkerhet och risker både av teknik och ekonomi då projekten är långa och vi lever i en föränderlig tid med fluktuerande material- och energipriser.

Rekommendation för fortsatt arbete

För fortsatt projektarbete inom teknik rekommenderar projektgruppen att:

- Utred två modulanläggningar, en för KVVVT 1 och en för KVVVT 2. Det ger uppenbara fördelar när det kommer till dimensionering och kapacitet samt att den biogena och fossila koldioxiden hålls separerade för att senare kunna användas för Bio-CCS och för Bio-CCU.
- Utför fördjupade optimerings- och integreringsanalyser av energiprofilen så att energibehovet för avskiljnings- och förvätskningsanläggningen minskar. Mer moderna och avancerade tekniker finns idag att tillgå på den

kommersiella marknaden vilket ger förutsättningar för en lägre energianvändning.

- Utred utvecklade aminbaserade tekniklösningar, Kryogen teknik och Joniserande vätskor vidare. Följ utvecklingen och ta in fler budgetofferter från leverantörer.

Projektgruppen följer utvecklingen och planering av fortsatt projektarbete är under diskussion.

3. AP2 Tillstånd

Inom Arbetspaket 2 har de tillstånd som krävs för koldioxidinfångning, koldioxidtransport och användning utvärderats. Arbetsgruppen har även bedrivit omvärldsbevakning gällande framtida krav för koldioxidinfångning. I arbetsgruppen ingick personal från Jönköping Energi och Klimpo samt konsulter och jurister.

Kraftvärmeverket Torsvik

Jönköping Energi driver kraftvärmeverket Torsvik (KVVT) som ligger cirka 10 kilometer söder om Jönköping. Anläggningen består av tre pannor: KVVT1 för förbränning av avfall, KVVT2 för bibränslen samt en hetvattenpanna (HVP). Den avfallseldade pannan och bibränslepannan drivs i två separata linjer för produktion av värme- och elenergi. Värmen som produceras levereras till Jönköping och Huskvarnas gemensamma fjärrvärmenät. Ånga från KVVT1 levereras också till en industri. Producerad el levereras ut på elnätet.

KVVT1

KVVT1 är en avfallsförbränningsanläggning som togs i drift 2006. Avfallsbränslet utgörs huvudsakligen av avfall från hushåll, verksamheter och industri. Den totala tillståndsgivna panneffekten är 100 MW.

KVVT2

KVVT2 är ett bibränsleeldat kraftvärmeverk som togs i drift 2015. Bränslet består av flisat träbränsle och stamved. Den totala tillståndsgivna panneffekten är 135 MW. När studien startades så var den totala tillståndsgivna panneffekten 110 MW. Alla resultat från studien baseras på det ursprungliga 110 MW scenariot.

Miljötilståndet för anläggningen är från 2003. Tillståndet uppdaterades 2013 för att inkludera KVVT2 och de senaste villkorsändringarna är från år 2022 i en dom från Mark- och Miljödomstolen (MMD) i Växjö. Villkoren inkluderar till exempel: bränsle, lagring, skorstenshöjd, utsläpp till luft och vatten, buller, aska, hantering av avfall och kemikalier, hantering av vatten, riskanalys samt kontrollprogram.

KVVT1 faller under kod 90.201-i med tillståndsplikt A i 29:10 § Miljöprövningsförordningen (MPF) (2013:251) MPF. KVVT2 och HVP faller under kod 40.50-i med tillståndsplikt B i 21:9 § MPF.

KVVT1 och KVVT2 är industriutsläppsverksamheter och omfattas därmed även av industriutsläppsförordningen (2013:250). Kraven i BAT-slutsatserna skall uppfyllas inom fyra år efter det att slutsatserna för den huvudsakliga industriutsläppsverksamheten publicerats. KVVT1 bedöms utgöra huvudverksamheten utifrån miljöpåverkan vilket kommunicerats och bekräftats av tillsynsmyndigheten¹⁹.

BAT-slutsatserna för huvudverksamheten, avfallsförbränning (KVVT1), publicerades 3 december 2019. BAT-slutsatser för stora förbränningsanläggningar (KVVT2) publicerades 31 juli 2017. De båda BAT-slutsatserna träder i kraft för anläggningen 3 december 2023.

Koldioxidutsläpp från Torsvik

De två kraftvärmepannorna (KVVT1 och KVVT2) är anslutna till en skorsten med separata rökgasrör.

De totala koldioxidutsläppen från anläggningen är cirka 340 000 ton per år. Av dessa beräknas ca 270 000 ton vara biogena utsläpp som kan fångas in.

En mer detaljerad bild av koldioxidutsläppen på Torsvik för 2022 ges i Tabell 18 visar andelen biogen och fossil koldioxid från KVVT1 och KVVT2.

Tabell 18 visar andelen biogen och fossil koldioxid från KVVT1 och KVVT2.

	Fossil CO2 ton	Biogen CO2 ton	Emissionsfaktor som använts
KVVT1 Avfall	71 738	88 499	Naturvårdsverkets hänvisningsvärde för avfall för EU ETS
KVVT1 RME		499	Analysrapport bioolja
KVVT2 Trä		193 859	NIR emissionsfaktorer, wooden fuels
KVVT2 RME		321	Analysrapport bioolja

Bygglov för anläggningen

För anläggandet av nya byggnader för avskiljning, förvätskning och lagring av koldioxid på Torsvik krävs bygglov.

Kraftvärmeverket ligger på fastigheten Flahult 21:1. Detaljplan för området antogs 2001-11-29. Den anger att byggnader skall placeras på ett avstånd av minst halva högsta tillåtna totalhöjd från tomtgränsen. Högsta totalhöjd är 15 meter. På en mindre del av tomtarean får pannhus och dylikt uppföras till en höjd av 60 meter. Utöver dessa höjder får skorstenar och dylikt uppföras. Idag finns en befintlig skorsten med en höjd på 120 meter.

I översiktsplanen är området klassat som flygkontrollzon. Hela fastigheten ligger inom ett område som är markerat som riksintresse för totalförsvaret som influensområde för luftrum²⁰. Därmed skall samråd med Forsvarsmakten ske för bygglovsärenden i detta område som rör objekt högre än 20 meter. Lovärenden

¹⁹ Meddelande 2018-02-13, dnr 555-834-2018.

²⁰ Se detaljerad karta över fastigheten här: <https://karta.jonkoping.se/app/oplan/antagen/#>

som rör byggnader högre än 45 meter inom sammanhållen bebyggelse (tätort) skall remitteras till Försvarmakten. På planritningar i information från Försvarmakten ser det ut som fastigheten ligger i utkanten på ett stort så kallat Minimum Sector Altitude område för Hagshults flygbas. I sådana områden kan höga objekt medföra påtaglig skada²¹. I dagsläget finns inga uppgifter på hur hög en avskiljningsanläggning på Torsvik skulle behöva vara men det är troligt att höjden överstiger 20 meter, och kanske även 45 meter.

Öster om anläggningen finns motorvägen E4. Det finns även ett riksintresse för trafik runt motorvägen som ligger i anslutning till fastigheten. Inom 50 meter från E4:ans vägområde föreligger generellt förbud att utan Länsstyrelsens tillstånd uppföra eller vidtaga anordningar som kan inverka menligt på trafiksäkerheten²². Arbetsgruppen bedömer i dagsläget att det är mindre troligt att någon byggnation förläggs i närheten av motorvägen.

Bullernivån vid bostadshus, utbildnings- och vårdlokaler får inte överstiga 50 dB(A) dagtid 07.00-18.00, 45 dB(A) kvällstid 18.00-22.00, 40 dB(A) nattetid 22.00-07.00. I dagsläget ligger de närmaste bostadshusen cirka 400 meter från anläggningen.

När det finns en bättre förståelse för var anläggningen skall uppföras och hur stor den beräknas vara bör en utredning göras av den gällande detaljplanen och huruvida det behövs detaljplansändringar för byggandet av anläggningen och lagret till exempel med anledning av ytan, höjden på anläggningen eller avståndet till tomtgränsen. Även eventuellt buller från kompressorer och avskiljnings- och förvätskningsanläggning bör ses över. Ett eventuellt samråd för detaljplanen kan samordnas med samrådet för miljötillståndet.

Miljötillstånd för anläggningen

I dagsläget är det inte beslutat om koldioxidavskiljningen kommer införas på KVV1, KVV2 eller båda två. Oavsett vilket alternativ som blir aktuellt på Torsvik så kommer uppförandet av en koldioxidavskiljning- och förvätskningsanläggning samt tillhörande lager för koldioxid att kräva miljötillstånd.

Koldioxidavskiljning för permanent lagring

Att avskilja koldioxid från rökgaser och sedan lagra permanent i geologiska formationer är en miljöfarlig verksamhet och har tillståndsplikt B i MPF. Beslutande myndighet är miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen i Östergötland. Industriutsläppsverksamheter lyder under verksamhetskod 90.500-i vid avskiljning och permanent lagring av koldioxid (29:62 MPF)

²¹ s. 46 ff, Riksintressen för totalförsvarets militära del i Jönköpings län 2023, <https://www.forsvarsmakten.se/siteassets/2-om-forsvarsmakten/samhallsplanering/riksintressen/bilaga-9-jonkopings-lan.pdf>

²² 47§ väglagen, SFS 1971:948

Avskiljning för tillverkning av bränsle

Förstudien innehåller också ett alternativ som innebär att avskild koldioxid används för tillverkning av syntetiska bränslen till transportsektorn (CCU) i stället för att lagra koldioxiden (CCS). Eftersom verksamhetskod 90.500-i endast gäller avskiljning av koldioxid för geologisk lagring faller koldioxid som avskiljs för tillverkning av bränsle eller annan användning under en annan kod. Sådan avskiljning skulle kunna likställas med tillverkning av koldioxid. För att genom kemisk eller biologisk reaktion i industriell skala tillverka mer än 20 000 ton (oorganiska) gaser per kalenderår gäller tillståndsplikt A och verksamhetskod 24.23-i (12:23 MPF)²³. Den tillverkning som sker i nästa steg, det vill säga tillverkningen av bränslet (med koldioxiden) sker på annan ort och av en annan aktör än Jönköping Energi och faller utanför miljötillståndet för anläggningen.

Nytt tillstånd eller ändringstillstånd

För närvarande existerar ingen fastställd riktlinje eller rättsligt prejudikat för att klargöra om etableringen av en koldioxidavskiljningsanläggning kräver ansökan om ett helt nytt tillstånd. En ändring av befintligt tillstånd medför en kortare handläggningstid gentemot ansökan om nytt tillstånd. Enligt 16 kap 2a § MB kan tillståndet begränsas till att enbart avse ändringen i verksamheten, vilket då faller in under ett ändringstillstånd. Det finns flera fördelar med att ansöka om ett ändringstillstånd som snabbare process och att avgränsningen sker till ändringen. Det är slutligen i samråd med länsstyrelsen som det avgörs vilket typ av tillståndsansökan som är aktuell för den nya verksamheten.

Prövningsinstans

I det fall tillståndsansökan endast omfattar en B verksamhet finns det anledning att diskutera huruvida det är att föredra att en tillståndprocess för koldioxidavskiljning görs av länsstyrelsen eller MMD. Arbetsgruppen för tillstånd ser fördelar med att ansökan behandlas av MMD då processen vid tidigare ändringstillstånd fungerat bra samt det innebär en möjlighet att samtidigt inkludera avskiljning av koldioxid för tillverkning av bränsle.

Miljöbedömning

Om en avskiljningsanläggning för koldioxid skall etableras så krävs en specifik miljöbedömning och en miljökonsekvensbeskrivning. Enligt 6 § miljöbedömningsförordningen 2017:966 antas verksamheten medföra en betydande miljöpåverkan i enlighet med 6 kap 20 § första stycket 2 MB eftersom verksamheten är tillståndspliktig enligt 29 kap 62 § MPF. Man kan därför i ansökningsprocessen bortse från undersökningssamrådet och börja med avgränsningssamrådet.

Villkor i miljötillstånd

I dagsläget finns det inte vägledning eller vedertagen praxis för de villkor som kommer ställas upp i miljötillstånd för koldioxidavskiljning. Flera

²³ s. 6, Naturvårdsverket, Vägledning om 12 kap. MPF – Kemiska produkter, reviderad 2019-03-29

tillståndsprocesser är påbörjade, bland annat för Vattenfall AB och Stockholm Exergi, vilket kommer att ge indikationer på vilka villkor som kommer att ställas för liknande efterkommande ansökningar. Vidare kommer villkoren även att anpassas till respektive anläggning och avskiljningsprocess.

Utsläpp av koldioxid

Myndigheterna kan enligt 16 kap 2c § miljöbalken införa villkor om utsläpp av koldioxid för en verksamhet som bedriver avskiljning, komprimering eller transport av koldioxid för geologisk lagring för att hindra koldioxidutsläpp.

Mätpunkter

Arbetsgruppen för arbetspaket 2 har diskuterat hur man bäst hanterar mätpunkter i framtiden och huruvida man bör mäta föroreningar i rökgaser före eller efter koldioxidavskiljningen, eller om man bör göra bådadera. Idag mäts rökgaserna innan de går upp i skorsten. Pannorna KVVT1 och KVVT2 har skilda mätpunkter och olika gränsvärden för utsläpp till luft.

Vid en koldioxidavskiljning minskar mängden rökgaser medan koncentrationen av föroreningar ökar, även om den totala mängden föroreningar inte ökar. Idag bevakas emissioner från anläggningar som en halt i gasmängd. Vid ett eventuellt ändringstillstånd där man inte vill ändra nuvarande villkor för utsläpp från pannorna skulle eventuellt en lösning vara att man har mätpunkter innan rökgaserna förs till koldioxidavskiljningen så att man för respektive panna kan visa att man fortsatt möter nuvarande villkor för utsläpp. Samtidigt kommer val av process för avskiljningen påverka vilka mätningar som behöver göras efter koldioxidavskiljningen. Mätpunkter behövs då även efter avskiljningen för att säkerställa att villkor för anläggningen möts. Stockholm Exergi har i sin ansökan för miljötillstånd för en koldioxidavskiljningsanläggning i Värtahamnen noterat att volymflödet och rökgashastigheten minskar efter avskiljning. Men samtidigt förväntas avskiljningen medföra en rening av rökgasen med minst 10 % för samtliga ämnen. De räknar därför med att klara nuvarande villkor även efter avskiljning²⁴.

BAT-slutsatser

Det förs även diskussioner inom energibranschen angående BAT-slutsatser vid koldioxidavskiljning. Dels angående hur man skall hantera att gasvolymen påverkar beräkningen av rökgashalter och om gasvolymen minskar så ökar koncentrationen²⁵ samt vilka BAT-slutsatser som är tillämpliga. Jönköping Energi omfattas av BAT-slutsatserna: BAT-LCP och BAT-WI. Diskussion förs kring huruvida andra BAT-slutsatser blir tillämpliga såsom BAT-slutsatser för kemisk sektor; CWW och WGC. Frågan kommer utredas närmare i en framtida genomförbarhetsstudie.

²⁴ s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning

²⁵ s 144 ff, Emissionsmätthandbok 2015, Förbränningsanläggningar, RAPPORT 2015:142, Energiforsk. Se avsnitt mätpunkter ovan.

Lagring av avskild koldioxid på anläggningen

Villkoren för miljötillståndet skall omfatta hanteringen i verksamheten av koldioxiden och då även säkerställa att lagringen av koldioxiden sker på ett säkert sätt. Koldioxid är tänkt att förvaras nedkyld i trycksatta lagertankar på området. Storlek och placering för lagertankarna är inte beslutat. Enligt arbetsgruppen för transport och lagring bör lagret på anläggningen kunna ta emot cirka tre dagars produktion. På Torsvik finns det potential för att avskilja ca 340 000 ton koldioxid per år. Det skulle innebära en lagervolym på cirka 6 300 m³ koldioxid vilket är ca 6 900 ton förvätskad koldioxid. Sådan lagringsvolym faller utanför tillståndsplikt och anmälningsplikt i kapitel 20 MPF som föreskriver en lägsta gräns om hantering och lagring av 50 000 ton vid ett och samma tillfälle av ett ämne som inte är klassificerat som till exempel brännbart, giftigt eller miljöfarligt.

Vid ett eventuellt läckage av koldioxid finns risk för bland annat kvävning. Denna risk och åtgärder för att minimera en olycka bör utredas närmare inför tillståndprocessen. Stockholm Exergi planerar till exempel att skärma av lagertankarna och förhindra att fordon kan komma i kontakt med lagertankarna (vidare transport sker med båt) och Söderenergi planerar för en datorsimulering av läckage för att bestämma placering av tankarna²⁶.

Utöver villkor i miljötillstånd för lagring av koldioxid skall Jönköping Energi även tillämpa EU-gemensamma BREF-dokument som till exempel 'utsläpp från lagring'. Det behandlar lagring av gaser och förvätskad gas samt utsläpp till vatten, mark och luft²⁷.

Buller

Olika tekniker för koldioxidavskiljning och förvätskning kräver olika komponenter som kan generera olika mycket buller. Kompressorer är en sådan komponent som eventuellt kan medföra en högre ljudnivå. Vid val av teknik så bör samtliga komponenter som ger upphov till buller kontrolleras så att inga gränsvärden överskrids.

Avfall och restprodukter

Processkemikalierna i en avskiljningsanläggning har olika tillsatser och egenskaper vilket gör att degradering sker i olika hastigheter beroende på omgivningen i processen. Det förekommer alltid en viss degradering av en absorptionsvätska. Det finns stora skillnader i vilka restprodukter som genereras och i vilken omfattning beroende på avskiljningsteknik. Vidare varierar föroreningar i rökgaser beroende på vilken typ av bränsle som förbränns och olika rökgassammansättningar kan ge upphov till olika avfallsprodukter. Restprodukter kan uppgå till 0,1–1 kg /ton avskild koldioxid. Det är viktigt vid val av avskiljningsteknik att utreda vilken typ av avfallsprodukter som genereras från avskiljnings- och förvätskningsanläggningen för koldioxid.

²⁶ Se avsnitt 'Omvärldsbevakning: Pågående tillståndprocesser' nedan.

²⁷ European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006, <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/emissions-storage>

Sevesolagstiftningen

En verksamhet som hanterar eller lagrar stora mängder kemikalier kan omfattas av Sevesolagen. Syftet med lagen (1999:381) är att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor. Jönköping Energi omfattas i dagsläget inte av Sevesolagstiftningen. Det finns en förteckning över ämnen som omfattas av lagstiftningen i Bilaga 1 i förordningen (2015:236) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor. Koldioxid omfattas inte av Sevesolagstiftningen. Jönköping Energi behöver undersöka hur förhållandena på närliggande verksamheter kan påverka säkerheten på anläggningen och i synnerhet Sevesoanläggningar²⁸. I nuläget finns det dock ingen närliggande Sevesoanläggning i anslutning till kraftvärmeverket Torsvik²⁹.

Kemikalier i avskiljningsprocessen

Jönköping Energi har inte slutligt avgjort vilken avskiljningsteknik som är bäst lämpad för Torsvik. Tre olika processer ingår i den här förstudien: MEA (Monoetanolamin); HPC (Hot potassium carbonate, kaliumcarbonat); och Joniska vätskor. Enligt uppgifter från arbetsgruppen för teknik så behöver en anläggning ungefär 40 ton process-kemikalier för att avskilja 100 000 ton koldioxid per år. Om Jönköping Energi inför avskiljning på både KVVT1 och KVVT2 kan man anta att det kontinuerligt behövs cirka 100 ton kemikalier i avskiljningsprocessen.

På grund av degradering av processkemikalierna så behöver man fylla på mellan 0,1-0,5 kg processkemikalier/ ton avskild koldioxid. Den siffran varierar beroende på hur mycket föroreningar som finns i rökgaserna. Räknat i det lägre spannet så blir det runt 27 ton per år. Under Sevesolagen har vissa särskilt farliga (icke namngivna) ämnen restriktioner från och med 5 ton medan vissa namngivna kemikalier har mycket lägre trösklar³⁰. För de tre olika avskiljningsteknikerna som ingått i förstudien finns det olika varianter av lösningsvätskor som man kan använda sig av beroende på vilka specifikationer som avskiljningsanläggningen får och vem som tillhandahåller kemikalierna.

Huruvida processkemikalierna faller under Sevesolagstiftningen eller inte behöver utredas närmare i en genomförbarhetsstudie, i kommande projektsteg. Jönköping Energi kommer däri undersöka huruvida den teknik man väljer ger upphov till skyldigheter under Sevesolagstiftningen. Även mindre mängder kan behöva utredas i samband med att man tittar på samverkan med andra kemikalier hos Jönköping Energi eller andra närliggande verksamheter. Idag förvaras till exempel bioolja på Torsvik. Jönköping Energi har tillstånd att hantera brandfarliga varor i

²⁸ 13 § Sevesolagen

²⁹ Se lista över verksamheter här:

<https://www.jonkoping.se/kommunpolitik/sakerhetochkrisberedskap/skyddmotolyckor/farligverksamhetseveso.4.28c2fd04166348199f2c80f.html>

³⁰ Se även avsnitt ”Stockholms Exergi - Värtahamnen” för en jämförelse av mängden processkemikalier som beräknas vara mycket högre där.

form av eldningsolja, gasol och acetylen³¹ under lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE)³².

Ett Sevesosamråd kan hållas enligt 13 och 13 a § Sevesolagen. Syftet med samråd enligt Sevesolagen är att utreda vilka omgivningsfaktorer som kan påverka säkerheten vid verksamheten. Ett sådant samråd har inga formaliakrav och kan samordnas med samrådet för miljötilståndet.

Omvärldsbevakning: Pågående tillståndsprocesser

Många olika industrier och verksamheter utreder möjligheten att implementera en koldioxidavskiljningsanläggning för att reducera utsläppen av växthusgaser. Nedan redovisas tre koldioxidavskiljningsprojekt som påbörjat sina miljötilståndsprocesser och kommit långt i sina projekt.

Vattenfall AB – Jordbro

Vattenfall planerar att etablera en avskiljningsanläggning för koldioxid på deras kraftvärmeverk i Jordbro i Haninge kommun. Anläggningen skall avskilja 150 000 ton koldioxid årligen och förväntas vara i drift till 2030. Vattenfall lämnade in en ansökan om miljötilstånd till Mark- och miljödomstolen den 9 januari 2024³³.

Vattenfall redovisar att valet av teknik för koldioxidavskiljning inte är slutligt avgjort. Vattenfall nämner i samrådsunderlaget att tillståndsansökan inte kommer att redovisa ett färdigt teknikval. I stället kommer de förvalda teknikerna att beskrivas och skillnaderna i deras mognadsgrad, dimensioner, platsbehov, resursbehov (värme, el, färskt vatten), energieffektivitet och miljöprestanda att redovisas³⁴. Teknikerna som nämns i samrådsunderlaget är Aminteknik, HPC (Hot potassium carbonate) och kyld ammoniak (CAP – Chilled ammonia process).

Samrådsunderlaget nämner att användning av den avskilda koldioxiden (Carbon Capture Utilization, CCU) också kan vara en möjlighet, men det är oklart vilken typ av användning som skulle kunna bli aktuell.

Stockholm Exergi – Värtahamnen

Stockholm Exergi var tidigt ute med sina planer för en avskiljningsanläggning för koldioxid på kraftvärmeverk KVV 8 i Värtahamnen i Stockholm. KVV 8 är ett bioeldat kraftvärmeverk som beräknas ha en potential att avskilja upp till 800 000 ton biogen CO₂ per år. I november år 2021 beslutades att projektet fick stöd av EU:s innovationsfond.

³¹ Räddningstjänsten, Jönköpings Kommun, Dnr 2014-001860, 2014-07-31. Tillståndet är giltigt fram till 2024-08-11.

³² Koldioxid faller inte under LBE, Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om vilka varor som ska anses utgöra brandfarliga eller explosiva varor (MSBFS 2010:4)

³³ Notera att Vattenfalls ansökan lämnades in efter att projektet *Bio-CCS i ett växande Jönköping* hade avslutats och slutrapporten redovisats inom projektgruppen. Texten i den här slutrapporten tar därför inte hänsyn till sådan ny information som redovisades i Vattenfalls ansökan av den 9 januari 2024 utan bygger på tidigare tillgänglig information i samrådsunderlaget.

³⁴ s 14, Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06.

Stockholm Exergi har ansökt om ett ändringstillstånd då de anser att ändringen är väl avgränsad då avskiljningen endast utgör ett extra reningssteg till verksamheten som kan nyttjas vid behov³⁵. Ansökan för miljöstillstånd lämnades in till Mark och miljödomstolen den 3 april 2023. Huvudförhandlingen i tillståndsärendet är preliminärt bokad till 6–7 februari 2024³⁶. Samrådsunderlaget i tillståndsprocessen under miljöbalken publicerades i augusti 2022³⁷. Ett investeringsbeslut är ännu inte bestämt utan förväntas tas efter erhållet miljöstillstånd för verksamheten.

Sedan år 2019 så har Stockholm Exergi bedrivit en forskningsanläggning för att avskilja koldioxiden från rökgaserna. Anläggningen baseras på en kemisk absorptionsteknik med en HPC-process.

Stockholm Exergi anger i ansökan om miljöstillstånd att absorption- och desorptionstornet för den fullskaliga kemiska avskiljningsprocessen av koldioxid kommer att vara 80 respektive 100 meter höga med en diameter på 9 meter och efter avskiljning så kommer rökgaserna att ledas ut via den 143 meter höga skorstenen. Den totala ytan som beräknas behöva tas i anspråk för koldioxidavskiljningsanläggningen är 13 000 m²³⁸. Den avskilda koldioxiden kommer att mellanlagras i vätskeform i tankar med en total lagringsvolym på 20 000 m³.

Söderenergi – Igelstaverket

Söderenergi planerar för en koldioxidavskiljningsanläggning på Igelstaverket i Södertälje. Samrådsmöte med myndigheter och allmänheten har genomförts under hösten 2023 och kommentarer på samrådsunderlaget kunde lämnas fram till december 2023. Inget sevesosamråd kommer att hållas. Ansökan beräknas lämnas in under tredje kvartalet 2024³⁹.

Anläggningen beräknas uppföras 2027–2029 och tas i drift år 2030. Målet är att avskilja 500 000 ton biogen koldioxid per år.

Söderenergi avser att ansöka om ett ändringstillstånd. De betraktar ändringen som en mindre, väl avgränsad ändring, som innebär ett extra reningssteg. Förutom koldioxid kommer även andra emissioner såsom svaveldioxid och kvävedioxider att minska⁴⁰. Vidare planerar Söderenergi för ett nytt kraftvärmeblock inom en

³⁵ s. 19, Stockholm Exergis ansökan om miljöstillstånd, aktbilaga 1, M 2479-23

³⁶ Nacka Tingsrätt, MMD, Kungörelse 2023-09-15, aktbilaga 33, M 2479-23

³⁷ Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19

³⁸ s 67-68, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning

³⁹ s. 38, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.

⁴⁰ s. 7–9, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.

femårsperiod. I anslutning till detta avser Söderenergi ansöka om ett helt nytt tillstånd för hela anläggningen⁴¹.

Söderenergi redovisar två olika tekniklösningar, aminer och HPC. Slutligt teknikval har inte ännu gjorts. Under hösten 2023 genomförs fördjupade utredningar av vilken påverkan en aminprocess har på Igelstaverkets verksamhet. Beslut om vilken teknik som skall användas för koldioxidavskiljning på Igelsta kommer att fattas när utredningen är klar. Det är något oklart i samrådsunderlaget huruvida teknikvalet görs innan tillståndsansökan lämnas in eller om de ämnar göra ansökan med en redovisning av två tekniklösningar. Det faktum att den fördjupade utredningen utförs under hösten 2023 och ansökan planeras först mot slutet av 2024 talar för att teknikvalet görs innan miljötillståndsansökan lämnas in⁴².

Kraftvärmeverket (IKV) eldas till störst del med biobränsle men det är av intresse att även en andel av bränslet är av fossilt ursprung. Anläggningen kommer därmed att kunna avskilja ytterligare 100 000 ton koldioxid per år med fossilt ursprung. Samrådsunderlaget ger ingen ytterligare information om hur man avser att hantera beräkning av respektive del och redovisning i olika system⁴³.

Avskiljningsanläggningen kommer få en ny, cirka 120 meter hög, skorsten. Rökgaserna beräknas öka i koncentrationen men inte tillräckligt mycket för att överstiga nuvarande villkor eller tillämpliga BAT slutsatser⁴⁴.

För att bestämma utformning och placering av lagertankarna för koldioxiden utförs datorsimuleringar av läckage⁴⁵.

Diskussion

Jönköping Energi behöver bygglov och miljötillstånd för att uppföra en avskiljningsanläggning med förvätskning och lager på Torsvik. För miljötillståndet ser en ansökan om ändringstillstånd hos mark- och miljödomstolen ut som den bästa lösningen i dagsläget. Arbetsgruppen följer tillståndsprocesserna för Stockholm Exergi, Vattenfall och Söderenergi och huruvida respektive process kommer att ske i form av ett ändringstillstånd eller inte. Om de godkänns som ändringstillstånd så finns det stöd för att Jönköping Energi också kan ansöka om ändringstillstånd för en framtida avskiljningsanläggning. Dock måste det beaktas att varje anläggning är unik och tillståndsmyndigheten kan alltid göra bedömningen att ett nytt tillstånd erfordras för verksamheten.

⁴¹ s. 9, ibid.

⁴² s. 18–19, ibid.

⁴³ s. 6 och s. 15, ibid. Den informationen vi har idag om framtida statligt stöd i form av omvända auktioner talar för att endast den biogena koldioxiden kan uppbära stöd. Den fossila delen kommer antagligen kunna avräknas i till exempel i ETS systemet.

⁴⁴ s. 25–26, ibid.

⁴⁵ s. 24, ibid. En så kallad computational fluid dynamic simulering.

En ansökan om miljötillstånd måste bland annat innehålla en specifik miljöbedömning och en miljökonsekvensbeskrivning. Ansökan ska föregås av ett avgränsningssamråd till vilket ett samrådsunderlag skall tas fram. Arbetsgruppen för arbetspaket 2 uppskattar att man får räkna med 1–2 års förberedelse innan ansökan om ändringstillstånd kan lämnas in. Därefter uppskattas prövningen pågå mellan 1–2 år i första instans.

Det finns fördelar med att senarelägga det slutliga teknikvalet för avskiljningsprocessen, bland annat med hänsyn till upphandling av leverantör, specificeringar för anläggningen och investeringsbeslut. Det är dock oklart i dagsläget hur länge man kan vänta med ett teknikval. Det finns för närvarande två samrådsprocesser där olika teknikval presenteras och det har, såvitt vi vet, inte föranlett några problem. Vid den efterföljande miljökonsekvensbeskrivningen och ansökan om tillstånd skulle troligtvis presentationen av fler än ett teknikval fördyra och förlänga processen då mer omfattande utredningar behöver utföras för respektive teknik. Vattenfall har enligt uppgift i samrådsunderlaget ännu inte tagit ett beslut om teknikval för koldioxidavskiljning. Det är intressant att de inte ämnar göra ett sådant val i ansökan om miljötillståndet utan lämna frågan öppen. Jönköping Energi kommer att följa utvecklingen kring Vattenfalls tillståndsansökan och hur teknikvalen presenteras däri. Om ett sådant förfarande accepteras finns det mer stöd för Jönköping Energi att fortskrida så.

Jönköping Energi har inte ännu beslutat om avskiljning skall ske på både KVV1 och KVV2, eller bara på en av pannorna. Här kommer tekniska aspekter väga tungt men arbetsgruppen för arbetspaket 2 noterar samtidigt att det i dagsläget är oklart hur en gemensam avskiljningsanläggning för båda pannorna kommer hanteras under framtida lagstiftning med hänsyn till den fossila delen som förbränns i KVV1. Jönköping Energi kommer att fortsätta att bevaka ny lagstiftning på området samt följa utvecklingen för Söderenergi och Igelstaverket inför beslut om investering.

Rekommendation för fortsatt arbete

Nästa steg i tillståndsprocessen inför uppförandet av en avskiljningsanläggning är att inleda en genomförbarhetsstudie. Däri måste miljöaspekterna för vardera teknikalternativ undersökas närmare och detaljstudier inledas för eventuella farhågor. Särskilt bör processkemikalier, eventuella katalysatorer och restprodukter granskas. Arbetsgruppen för tillstånd noterar även att Torsvik ligger i nära anslutning till en reservvattentäkt för dricksvatten samt Vättern. Marken som omger anläggningen är genomsläpplig och hanteringen av spill och dagvatten är därför viktig för Jönköping Energi. Påverkan av avskiljningsanläggningen på kringliggande natur och vatten kommer beaktas i genomförbarhetsstudien.

Oavsett vilken avskiljningsprocess som väljs av Jönköping Energi så kommer det innebära att företaget måste göra nya undersökningar och riskbedömningar för arbetsmiljön, utarbeta nya hanterings- och skyddsinstruktioner för kemikalierna, dokumentera produkterna, införskaffa ny skyddsutrustning, etcetera. Det är arbetsgruppens uppfattning att det arbetet kan vänta till tillståndet är färdigt och detaljprojektering kommer i gång.

Uppförandet av en koldioxidavskiljningsanläggning på Torsvik är inte bara beroende av tillstånd utan även fungerande logistik och lagringsmöjligheter. Det är vidare fortfarande oklart exakt hur Jönköping Energi kommer att kunna tillgodoräkna sig infångad koldioxid och vilket värde det kommer att uppbära. Detta påverkar i sin tur investeringsbeslutet.

4. AP3 Kommunikation

År 2045 skall Jönköping Energi vara en kolsänka och bidra till att minska samhällets växthusgasutsläpp. Med detta menas att Jönköping Energi skall vara klimatpositiva, det vill säga fånga upp koldioxid ur kretsloppet.

Även Jönköpings län har en gemensam vision om att tillsammans skapa ett klimatsmart län, plusenergilän, till år 2045. Som en del i det arbetet utreder Jönköping Energi möjligheten att bygga en Bio-CCS-anläggning på kraftvärmeverket Torsvik i Förstudien ”Bio-CCS i ett växande Jönköping”.

Inom detta arbetspaket skall möjliga intressentgrupper identifieras genom en intressentanalys och identifierade intressenter involveras minst en gång under projektets genomförande. Arbetspaketet ansvarar för kommunikationsmaterial och informationsspridning genom artiklar, kunddialoger, och seminarium. Även en plan för kompetensutveckling skall tas fram för anställda på Jönköping Energi.

Genomförande

Klimpo tillsammans med Jönköping utgör projektgruppen för AP3. I denna förstudie har flertalet intressenter identifierats och prioriterats, se Bilaga 4 - Intressentanalys. Intressentdialoger och aktiviteter med identifierade och prioriterade intressenter redovisas i Bilaga 7 - Dialograpport.

För att uppnå projektmålen har projektgruppen investerat i en mångfacetterad kommunikationsstrategi, som omfattar utbildning, dialog och spridning av projektinformation både i fysiska och digitala kanaler.

Kommunikationsmetoder har anpassats beroende på syfte och målgrupp. Genom personliga möten, nätverksträffar, seminarium, konferenser, studiebesök och kunddialoger har information från projektet delgivits både interna och externa intressenter. Dessutom har projektinformation delats via webbplatser, lokal TV, branschmedia och olika sociala kanaler.

Samordning av projektets kommunikationsbehov

Genom aktiv kommunikation och regelbundna möten har projektgruppen säkerställt att samtliga medlemmar inom organisationen är väl informerade och känner sig motiverade och trygga i att förmedla projektets budskap. En betydande del av detta har uppnåtts genom genomförandet av utbildningar, nätverksträffar, kunddialoger och studiebesök.

För att säkerställa en djup och relevant kunskapsgrund för både förstudien och de kommande faserna har projektgruppen genomfört omfattande utbildningsinsatser.

Projektgruppen har dessutom skapat och tillhandahållit presentationsmaterial, illustrationer, texter och "Frågor och svar" (Q&A) som har varit till nytta för projektmedlemmar och övriga anställda på Jönköping Energi.

Under våren 2023 intervjuades projektägaren på Jönköping Energi av SVT Jönköping och i ett nyhetsinslag förklaras vad kraftvärmeverket med hjälp av koldioxidinfångning kan göra för att minska koldioxidutsläppen i Jönköpings län, och vad det betyder för att Sverige skall sina klimatmål. Ett inslag som förklarar hur koldioxidinfångning fungerar spelades även in och har använts i projektkommunikation.

Projektgruppen har även förberett ett underlag och koncept för fortsatt kommunikation och genomförande av kunddialoger efter avslutad förstudie.

Dialograpport

För att säkerställa ändamålsenlig och inkluderande kommunikation med intressenter skapade projektgruppen i ett tidigt skede en Kommunikationsplan. Denna projektspecifika kommunikationsplan har agerat som ett verktyg för projektgruppen, vilket har underlättat förmedlingen av projektets budskap både internt och externt. Mer detaljer finns i Bilaga 5 - Kommunikationsplan.

Projektgruppen har kommunicerat tydligt och relevant för att visa vikten och fördelarna med förstudien samt förklarat innebörden av Bio-CCS och Bio-CCU, men även klimatpositiv fjärrvärme, för Jönköping Energi och Jönköping Energis kunder. Fokus har även lagts på att förklara skillnaden mellan CCS och CCU och de olika möjligheter som detta kan erbjuda.

Projektgruppen har strävat efter att bygga förtroende och få acceptans för projektet med målsättningen att generera en känsla av stolthet samt skapa en nyfikenhet och en vilja att fördjupa sig i ämnet och driva framtida utveckling. Den ökade kunskap som förväntas komma från detta projekt kommer att stärka projektets intressenter och öka deras konkurrenskraft.

Stärkt varumärket Jönköping Energi

Denna förstudie utgör en viktig komponent i Jönköpings klimatarbete och representerar en avgörande insats för att utforska innovativa lösningar som kan accelerera regionens arbete mot klimatmålen och minskade utsläpp.

Genom att göra konkreta åtaganden bekräftar Jönköping Energi sitt engagemang i att vara en drivande kraft i klimatomställningen. Förstudien markerar ett betydande steg mot att minska klimatavtrycket inom det lokala energisystemet och utgör en kraftfull bidragsgivare till kommunens övergripande hållbarhetsarbete.

Förstudien utgör inte bara ett viktigt bidrag till ökad kunskap internt och inom branschen utan sprider även insikter i den bredare regionen där Jönköping Energi verkar. Den klargör också att Jönköping Energi aktivt deltar i arbetet för ett klimatpositivt Sverige 2045 och utgör därmed en väsentlig del av lösningen på de utmaningar som klimatförändringarna medför.

Ökad förståelse och kunskap om Bio-CCS, Bio-CCU och förstudien

Ett stort fokus har lagts på utbildning av projektgruppen för att säkerställa kompetens och identifiera vad som kommer att krävas i kommande faser.

Den direkta återkopplingen från möten och dialoger med målgrupper har varit positiv och genererat intresse för förstudien "Bio-CCS i ett växande Jönköping". Målgruppsanpassat material, information, kunddialoger, utbildning och lokala insatser som bland annat lokala TV-inslag har bidragit till ökad kunskap, en ökad medvetenhet, om Bio-CCS, Bio-CCU, minusutsläpp samt klimatpositiv fjärrvärme.

Genom aktiv dialog med kunder och diskussioner om Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme, samt genom möten med representanter från industrier och deltagande i Prisdialogen, Framtidsdialogen med mera, har andra företag fått inspiration och information om vikten av att driva klimatpositiva initiativ och fjärrvärmens avgörande roll. Fjärrvärme fungerar som en avlastning för elnätet, vilket i sin tur möjliggör elektrifiering och klimatomställning inom industrisektorn. Genom att anta klimatpositiv fjärrvärme kan både fastigheter och produkter uppnå klimatpositivitet, vilket skapar mervärde för såväl kunder som hyresgäster.

Genomförda dialoger har resulterat i initierade och intresserade frågor och en önskan om mer information och fortsatt dialog och samarbete, vilket har stärkt förtroendet för projektkommunikationen och lagt en bra grund för fortsatt dialog med engagerade aktörer i regionen. Samtliga deltagare i genomförda kunddialoger framförde sin önskan om att få delta i presentation av förstudiens resultat och fortsatta samtal.

Kunddialog och marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme

Den genomförda marknadsanalysen och kunddialoger skall öka förståelsen för Bio-CCS och minusutsläpp samt ge en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme hos ett urval av Jönköping Energis fjärrvärmekunder (företagskunder).

Syftet är även att identifiera kunder som är intresserade av djupare samtal och diskussion om möjligheter.

Tillvägagångssätt och respondenter, Marknadsanalys

Genom ett digitalt frågeformulär ställdes tre frågor till ett urval av Jönköping Energis företagskunder med möjlighet att lämna en kommentar samt önskan om att delta i fortsatt dialog genom möte.

Urvalet bestod i prioriterade företagskunder.

I frågeformuläret ställdes följande frågor:


1. Känner du till att Jönköping Energi utreder möjligheten att fånga koldioxid för att städa atmosfären från koldioxid?
a. Ja b. Nej
2. Vad tycker du om det?
a. Bra b. Dåligt C. Ingen åsikt d. Förstår ej vad det innebär

3. Skulle ditt företag vara intresserat av att köpa minusutsläpp (krediter) att nyttja till produkter och tjänster och därmed kunna erbjuda klimatpositiv fjärrvärme, ett klimatpositivt boende eller tjänster?
a. Ja b. Nej c. Kanske d. Förstår ej vad det innebär

Den fjärde frågan gav undersökningsdeltagarna möjlighet att lämna en kommentar.

Den femte frågan gav undersökningsdeltagarna möjlighet att lämna sitt namn och e-postadress för att delta i vidare diskussion om Jönköping Energis förstudie, Bio-CCS, klimatpositiv fjärrvärme och möjligheter för kunden.

Formuläret skickades som ett digitalt nyhetsbrev från Jönköping Energi till 18 prioriterade företagskunder. Nyhetsbrevet med formuläret innehöll även information om Bio-CCS, minusutsläpp och Jönköpings mål att bli ett klimatsmart län, plusenergilän, till år 2045. Utskickets utformning ses i Figur 15 nedan.



MARKNADSANALYS OM KLIMATPOSITIV FJÄRRVÄRME

Sverige har som mål att bli klimatpositivt efter år 2045. Det innebär att Sverige först ska bli klimatneutralt för att sedan satsa på att fånga in och lagra koldioxid. Man kan säga att man renar atmosfären från överskottet på koldioxid och på så sätt genererar minusutsläpp. Genom att först uppnå klimatneutralitet och sedan generera minusutsläpp uppnås klimatpositivt.

Som en del i detta förväntas regioner och kommuner behöva erbjuda lösningar för minusutsläpp av koldioxid, till exempel möjligheten att fånga in och lagra koldioxid permanent. Denna teknik kallas Bio-CCS, Bioenergy Carbon Capture and Storage.

Det är en kompletterande åtgärd, efter att alla utsläppsminskningar gjorts, för att klara klimatutmaningen som världen står inför.

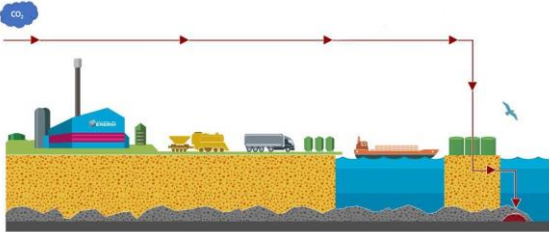


Illustration av Bio-CCS och koldioxidens väg från infångning i fjärrvärmeverket, förvätskning, transport och slutligen permanent lagring.

JÖNKÖPINGS LÄN – ETT PLUSENERGILÄN TILL ÅR 2045

Jönköpings län har en gemensam vision om att tillsammans skapa ett klimatsmart län, plusenergilän, till år 2045. Som ett steg på resan mot ett klimatsmart län utreder Jönköping Energi möjligheterna för koldioxidinfångning för att bli klimatpositiva genom minusutsläpp i en förstudie som avslutas i december 2023. På sikt kan cirka 270 000 ton biogen koldioxid avskiljas hos Jönköping Energi varje år för att sedan lagras permanent. Det motsvarar cirka 13 % av Sveriges mål om minusutsläpp till år 2045.

De minusutsläpp som Jönköping Energi kan producera kan användas för att erbjuda klimatpositiv fjärrvärme. Det gör att fastigheter och produkter blir klimatpositiva, vilket i sin tur skapar möjlighet för kunder och hyresgäster att tillsammans med Jönköping Energi möjliggöra klimatomställningen.


En eventuell framtida satsning på Bio-CCS kommer främst finansieras genom nationellt eller internationellt stöd samt en frivilligmarknad för certifikat på minusutsläpp.

VI BEHÖVER DIN HJÄLP – DELTA I VÅR MARKNADSANALYS

Denna marknadsanalys ska ge en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme hos Jönköping Energis fjärrvärmekunder samt öka förståelsen för Bio-CCS och minusutsläpp.

Hjälp oss genom att svara på tre korta frågor (< 1 min).

>> [Till frågorna](#) eller scanna QR-koden.



Tack för att du hjälper oss i detta viktiga arbete och lämnar ditt svar senast den 6 oktober!

Figur 15 Utskick "Marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme" till ett urval av Jönköping Energis fjärrvärmekunder. Urvalet bestod av prioriterade företagskunder.

Resultat, Marknadsanalys

Frågeformuläret skickades till 18 prioriterade företagskunder via Jönköping Energis CRM-system med en påminnelse.

Totalt svarade 7 mottagare, varav 4 önskade återkoppling för vidare diskussion.

På fråga 1 - *Känner du till att Jönköping Energi utreder möjligheten att fånga in koldioxid för att städa atmosfären från koldioxid?* svarade 28,6% att de kände till att Jönköping Energi utreder möjligheten för Bio-CCS. 71,4% kände inte till det.

På fråga 2 - *Vad kunder tycker om att Jönköping Energi utreder möjligheten till Bio-CCS och minusutsläpp?* svarade 100 % att de tycker att det är bra att Jönköping Energi utreder möjligheten för Bio-CCS.

På fråga 3 - *Skulle ditt företag vara intresserat av att köpa minusutsläpp (krediter) att nyttja till produkter och tjänster och därmed kunna erbjuda klimatpositiv fjärrvärme, ett klimatpositivt boende eller tjänster?* svarade 14,3 % av respondenterna att de är intresserade av klimatpositiv fjärrvärme, 71,4 % svarade kanske och 14,3% svarade att de inte är intresserade.

Fyra respondenter önskade ytterligare kontakt för fortsatt dialog.

Tillvägagångssätt, Kunddialog

De fyra respondenter som önskade kontakt och ytterligare möjlighet till dialog kontaktades per e-post och digitala möten bokades in. Utöver dessa kunder bjöds ytterligare två företagskunder (prioriterade intressenter) in till kunddialog. Detta innebär att totalt sex digitala kunddialoger genomfördes.

1. Företag 1 (Kände inte till förstudien)
2. Företag 2 (Kände inte till förstudien)
3. Företag 3 (Kände till förstudien)
4. Företag 4 (Kände till förstudien)
5. Företag 5 (Kände till förstudien)
6. Företag 6 (Kände delvis till förstudien)

I mötena deltog kund, kontaktperson på Jönköping Energi samt projektledare och VD för Klimpo. I vissa möten deltog flera representanter från kund.

Att ha anställda med från Jönköping Energi var prioriterat då detta var ett mycket bra tillfälle för utbildning och diskussion samt för Jönköping Energi att inhämta tankar och idéer från kunderna.

Metoden för att informera och utbilda samt diskutera värdeerbjudanden och möjligheter i kunddialog skedde genom digitala möten med följande huvudområden:

- Kort om Klimpo och samarbetet med Jönköping Energi i förstudien "*Bio-CCS i ett växande Jönköping*".

- Information/utbildning om Bio-CCS - lösningens teknik, klimatnytta, finansiering samt förstudien. Även CCU diskuterades.
- Information/utbildning om klimatpositiv fjärrvärme och dess betydelse för kundens verksamhet och konkurrenskraft. Möjligt erbjudande.
- Intervju/frågor till kund. Kundens intresse, behov och tankar kring klimatpositiv fjärrvärme.

Utöver de frågor som ställts i den digitala marknadsanalysen/enkäten ställdes kompletterade frågor samt gavs möjlighet för kund att ställa frågor och diskutera. Stort fokus lades på att berätta och informera om vad som händer i Sverige inom Bio-CCS och Bio-CCU idag, utvecklingen av marknaden för kolkrediter samt de möjligheter som finns för energibolag som Jönköping Energi och deras kunder.

Kompletterande frågor

1. Skulle ditt företag vara intresserat av att köpa minusutsläpp (krediter) att nyttja till produkter och tjänster och därmed kunna erbjuda klimatpositiv fjärrvärme, ett klimatpositivt boende eller tjänster?
 - a. Dina tankar kring detta?
 - b. Kundintresse och möjliga villkor för köp
2. Hur avgörande tror du att det kommer bli i framtiden att företag går före och erbjuder den här typen av produkter och tjänster?
3. Varför är det viktigt att vi utreder den här typen av satsningar/teknik?
4. Övrigt – Kommentarer och frågor från kund och kundansvarig
5. Vad skulle vi kunna göra för att sprida information och kunskap om Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme?
6. Hur kan Jönköping Energi hålla frågan levande?
7. Sammanfattning och väg framåt

Sammanfattning av Kunddialoger

Sammanfattningar av diskussioner redovisas i sin helhet i Bilaga 8- Kunddialoger.

Att Jönköping Energi undersöker förutsättningarna för Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme ses som positivt och viktigt. Kunderna förmedlar sitt stöd för projektets inriktning och möjligheten att erbjudas klimatpositiv fjärrvärme. Det finns ett tydligt intresse att utforska möjligheterna inom detta område.

Samtliga dessa kunder har ambitiösa klimatmål och tydliga krav på utsläppsminskningar. Att få möjlighet att vara en del av detta klimatarbete och ta sitt ansvar är en viktig målsättning för flera företag.

Det finns ett intresse och nyfikenhet hos vissa företag att få möjligheten att investera en mindre del för att visa sitt intresse för ett Bio-CCS-projekt och stödja utvecklingen av klimatpositiva produkter. För att underlätta ett framtida projekts

finansiering är det fördelaktigt att kunder och andra intressenter visar intresse och stödjer Bio-CCS-projekt.

En möjlighet att få signera intentionsavtal (LOI) och därmed visa sitt intresse för projektet lyftes som intressant och positivt. Mer information och kunskap krävs men denna initiala dialog är ett bra första steg.

Vikten av att lokalinvånare i Jönköping också skall kunna dra nytta av Bio-CCS på Jönköping Energi påtalas. Flera kunder ser ett samarbete inom Bio-CCS som en PR-möjlighet för att visa att de är pionjärer i Jönköping genom att utveckla Bio-CCS. Företag vill vara en del av lösningen och stödja Jönköping Energi i deras strävan att bli klimatpositiva och anamma ny teknik.

Flera kunder visar även sin uppskattning för Jönköping Energis nuvarande ansträngningar att leverera miljövänlig energi i form av både fjärrvärme och el och ger uttryck för sitt intresse av att använda ännu renare energiprodukter om möjligt.

Priser och ekonomi kring den här typen av projekt diskuterades i samtliga dialoger och det finns en oro att en satsning på Bio-CCS blir ett kostnadspåslag på fjärrvärmerna. I samtalet betonas att det primära målet är att inte påföra kunderna extra kostnader och att klimatpositiv fjärrvärme skall vara ett frivilligt val som erbjuds av Jönköping Energi, vilket uppfattas som positivt av kunderna.

I stället kan det vara en valmöjlighet för de kunder som aktivt vill stödja klimatpositiva initiativ och investeringar. På så sätt kan det vara en flexibel och kundorienterad strategi för att minska koldioxidutsläppen inom fjärrvärmebranschen.

Det är i dagsläget dock för tidigt att avgöra vad som skulle vara en passande affärsmodell men samtliga kunder är positiva och intresserade av att utveckla diskussionen och diskutera möjligheter längre fram.

Möjligheten att man som kund investerar en mindre del för att visa sitt intresse för detta projekt och stödja utvecklingen av klimatpositiva produkter nämns. För att underlätta ett framtida projekts finansiering är det fördelaktigt att kunder och andra intressenter visar intresse och stödjer Bio-CCS-projekt.

Samtalen innehöll många frågor vilket visar hur viktigt och angeläget detta arbete är. Det finns en tydlig drivkraft för hållbarhet och en strävan mot att göra positiva förändringar i frågor som rör klimat och miljö. Det är en uppmuntrande utveckling som ger hopp för en mer hållbar framtid. Samarbeten och partnerskap över olika sektorer och organisationer är nyckeln till att driva positiva förändringar och utveckla nya affärsmöjligheter.

Eftersom arbetet med Bio-CCS är en långsiktig plan är det viktigt att veta vad kunderna verkligen vill och vad de är villiga att förbinda sig till. Det här samtalet markerar en inledning för att börja utforska dessa frågor. Jönköping Energi vill informera och diskutera med sina kunder för att förstå intresset och behoven bättre, skapa medvetenhet, samla in åsikter och sprida information för att i framtiden kunna ta välgrundade beslut och riktlinjer framöver.

Det är viktigt att vara flexibel och anpassa sig till de förändringar som sker. Det är också nödvändigt att titta på kompletterande åtgärder för att uppnå de övergripande klimatmålen. Att arbeta med effektiviseringar är ett steg, men att inkludera kompletterande åtgärder som avskiljning och lagring av koldioxid är avgörande för att möjliggöra negativa utsläpp och minska de totala utsläppen. Sådana projekt tar tid att utveckla och genomföra, och det krävs samarbete, tillståndsprocesser, politiska beslut och finansiering.

I flera dialoger uppkom önskemål om att möjliggöra spridning av denna kunskap, samt resultatet av förstudien, till centrala delar av större koncerner samt till övriga anställda, primärt de som ansvarar för klimatarbete inom organisationen. Detta kommer att verkställas inom förstudien samt efter avslutat projekt.

Diskussion

Genom kunddialoger och flertalet övriga kundmöten och nätverksträffar har Jönköping Energi framgångsrikt informerat och visat intressenterna värdet av Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme, men även möjligheten med CCU. Resultatet av detta arbete har väckt nyfikenhet och en stark vilja att lära sig mer om möjligheter, delta i fortsatt dialog, utforska partnerskap och gemensamt fortsätta utveckla det klimatpositiva arbetet.

Flera medarbetare från olika avdelningar på Jönköping har genom projektarbetet utvecklats och axlar nu rollen som ambassadörer för det fortsatta arbetet för att Jönköping Energi skall nå sitt mål att år 2045 vara en kolsänka och bidra till att minska samhällets växthusgasutsläpp.

Projektgruppen anser att Jönköping Energis Bio-CCS-projekt har stärkt varumärket genom att tydligt visa på ett aktivt klimatarbete. Utöver att sträva efter klimatneutralitet tar projektet också ett viktigt steg genom att rena atmosfären från koldioxid. Genom intressentdialoger har det även skapats en ökad förståelse för Sveriges och EU:s mål om att bli klimatpositiva, samt att Jönköping spelar en aktiv och viktig roll i klimatarbetet.

Projektgruppen noterar att osäkerheten kring kolkrediter är relaterad till ekonomi och affärsverksamhet. Det är viktigt att en Bio-CCS-anläggning självständigt finansierar sina kostnader genom bidragsstöd och frivilliga marknader för minusutsläpp, samt att ett motsvarande system som EU-ETS, för handel med utsläpp, etableras för minusutsläpp. Det bör dock nämnas att flera företag redan nu vill delta och stödja utvecklingen av minusutsläpp.

Möjliga samarbeten och dialoger med andra aktörer och partners har initierats. Projektgruppens bedömning är att kunderna över lag är positiva till initiativet och genomförda dialoger visar på en klimatmedvetenhet bland kunderna som värderar klimatfrågan högt. Kunddialogerna fick positiv respons och projektgruppen anser att den har varit en framgångsrik och viktig kanal för att öka förståelsen för Bio-CCS, klimatpositiv fjärrvärme och CCU. Samtliga deltagare i genomförda kunddialoger vill veta mer om förstudiens resultat och vill bjudas in till en presentation och vidare diskussioner.

Att inleda ett direkt partnerskap redan under förstudien bedömdes däremot som för tidigt.

Andra företag med pågående Bio-CCS-projekt i Sverige och övriga Norden har visat stort intresse för Jönköping Energis förstudie och framtida planer. I närområdet genomförs även liknande förstudier, vilket har öppnat upp för möjliga samarbeten och ett gemensamt arbete framåt. Diskussioner har till exempel ägt rum med Växjö Energi och Öresundskraft, där projektgruppen har fått ta del av erfarenheter och projektresultat har jämförts. Projektet CNetSS (Carbon Network South Sweden) leds av Växjö Energi och skall bidra till att skapa hållbara och kostnadseffektiva lösningar för en regional koldioxidinfrastruktur i Sydsverige och är också intressant för Jönköping Energi då arbetet skall inspirera fler för liknande regionala samarbeten kring koldioxidinfrastruktur.

Rekommendation

Genom förstudien har projektgruppen skapat en gemensam utgångspunkt och tillräcklig kunskap för att i nästa steg utveckla och ta arbetet med samarbeten och partnerskap vidare.

Genomförda dialoger skall följas upp med presentation av förstudiens resultat, nuläge och nästa steg för Bio-CCS hos Jönköping Energi, med förhoppning om ett fördjupat samarbete och att så småningom, eventuellt, kunna etablera ett fördjupat samarbete – möjligen ett avtal (LOI) för en lösning, när omständigheterna så erbjuder.

Resultatet skall även skickas vidare centralt inom större koncerner inom vilka det är oklart om frågan om Bio-CCS och CCU redan utreds men där det bör finnas ett intresse för mer information.

Ett tidigt samarbete med lokala industrikunder är väsentligt framöver. I kommande faser bör arbetet med kunddialoger fortsätta samt utökas för att stärka kommunikationen med fjärrvärmekunder, främst företagskunder som fastighetsbolag, bostadsrättsföreningar och andra industrikunder då de bedöms ge störst climateffekt.

Projektgruppen rekommenderar vidare arbete med identifierade frågeställningar genom fortsatta kunddialoger och fördjupade intervjuer med nyckelkunder. Genom dialog kan Jönköping utreda förutsättningarna för Bio-CCS- och Bio-CCU-affären och utvärdera intresset för minusutsläpp. De kan även fortsätta att undersöka betalningsviljan hos sina kunder. Att informera målgrupperna om klimatpositiv fjärrvärme och dess betydelse för deras verksamhet och konkurrenskraft är av högsta vikt.

Jönköping Energi bör informera och diskutera med sina kunder för att förstå intresset och behoven bättre, skapa medvetenhet, samla in åsikter och sprida information för att i framtiden kunna ta välgrundade beslut och riktlinjer framöver.

Jönköping arbetar med att ta ett rejält kliv i klimatfrågan och det fortsatta kommunikationsarbetet kan med fördel fokusera på det lokala perspektivet.

Fortsätt att på ett enkelt sätt kommunicera kring vikten av Bio-CCS och om hur Bio-CCS renar atmosfären på historiska utsläpp. Det är centralt att poängtera att Bio-CCS är en viktig kompletterande åtgärd utöver de kraftiga utsläppsminskningar som behöver göras för att Sverige skall nå målet om noll nettoutsläpp av växthusgaser 2045.

Fortsätt även att på ett enkelt sätt kommunicera kring vikten av CCU. Vi behöver både CCS och CCU.

Genom till exempel webinarier och nätverksträffar finns möjlighet att öppna upp för dialog inom kommunen och sprida information om Bio-CCS, CCU och klimatpositiv fjärrvärme.

Projektgruppen rekommenderar samordning och organisering med andra initiativ och saker som pågår inom den kommunala verksamheten såväl som utanför är en förutsättning för en bra fortsättning. Även lokala politiker bör involveras i arbetet. Frågan om klimatpositiv fjärrvärme har inte diskuterats politiskt inom regionen ännu och skulle behöva genomgå en politisk process för att utvärderas och eventuellt antas.

Bio-CCS är av stor betydelse för Jönköping, både som en möjliggörare för framtida industrietableringar och för att inta en ledande position i hanteringen av klimatutmaningarna. Jönköping Energi har möjlighet att stödja potentiella partners i regionen med kunskap, stärka deras kommunikation och på så sätt även stödja deras klimatarbete.

Den interna kommunikationen på Jönköping bör fortsätta som ett kontinuerligt arbete för att skapa acceptans bland medarbetare och bygga vidare på tidigare kommunikationsinsatser. Intranätet, Morgonsoffan, interna möten och nätverksträffar är viktiga kanaler för att främja dialog och besvara frågor.

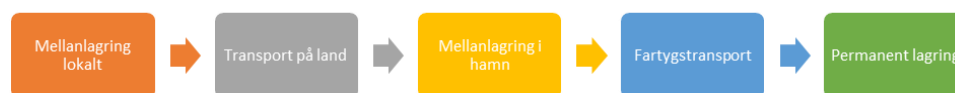
Jönköping Energis ambition är att vara en ledande kraft och vara öppna för att använda och omfamna ny teknik. Jönköping Energi strävar efter att vara pionjärer i regionen och att vara föregångare inom kommunen. Målsättning är att vara en kunskapskälla för ny utveckling och innovation och samtidigt leverera de tjänster som kunderna förväntar sig. Detta svarar på Jönköping Energis kunders förväntningar och hjälper dem med att upprätthålla sin ställning som branschledare.

AP4 Logistik och transport

Inledning

I alla CCUS-projekt har transport och logistik en betydande roll för hela värdekedjan för Bio-CCU och Bio-CCS. Den avskilda koldioxiden behöver transporteras till lagringsplatser eller processindustrier som använder koldioxiden som en råvara. Effektiva logistiklösningar är viktigt för att uppnå affärsmässighet i en CCUS-investering. Koldioxiden ska förvätskas, mellanlagras, transporteras och permanent lagras eller användas. Denna delrapport kommer övergripande behandla det pågående arbetet i Norden och Norra Europa kring

koldioxidtransporter och logistiklösningar samt ge exempel på hur en transport- och logistikkedja kan se ut för ett Jönköping Energi med Bio-CCUS. I delprojektet har möjliga transportsätt från kraftvärmeverket till hamn, exempelvis rörledningar eller tågtransport, samt från hamn till slutlagring utretts. Då det antas finnas en korrelation mellan större volymer av koldioxid samt kostnadseffektivitet har även potentialen för ett logistikkluster för närområdet uppskattats.



Figur 16 Visar logistikkedjan för koldioxidavskiljning.

I Figur 16 visas ett exempel på en förenklad schematisk bild över transport- och logistikkedjan för förvätskad koldioxid.

Förutsättningar och avgränsningar

Jönköping Energi har en potential att avskilja totalt ca 270 000 ton biogen koldioxid varje år samt ytterligare 70 000 ton fossil koldioxid. Den dagliga avskilda mängden koldioxid kommer variera över året då pannornas produktion varierar beroende på exempelvis årstider eller planerade driftavbrott. En transport- och logistiklösning behöver dock dimensioneras utifrån maximal daglig avskiljning. Det behöver också tas hänsyn till potentiella tillfälliga avbrott i transportkedjan och en säkerhetsmarginal i mellanlagringskapacitet är därför nödvändig.

I Tabell 19 beskrivs dimensioneringsbehovet för en transport- och logistiklösning för Jönköping Energi. KVVVT 1 har potential för en årlig avskiljning av ca 180 000 ton CO₂ varav ca 70 000 ton är fossil CO₂. KVVVT 2 är något mindre med en potential för årlig avskiljning på ca 160 000 ton CO₂ varav allt är biogent. I denna delrapport görs ingen urskiljning av den fossila koldioxiden utan transport- och logistikkedjan är beräknad att hantera den totala mängden avskild koldioxid.

Tabell 19 Dimensioneringsbehov för Jönköping Energi

Förbränningsanläggning	Årlig avskild volym (ton CO ₂ /år)	Drifttimmar per år (h/år)	Maximal daglig avskiljning (ton CO ₂ /dag)
KVVVT 1	180 000	8 265	700
KVVVT 2	160 000	6 200	1 400

I teknikstudien har tre olika scenarios utvärderats. Avskiljning på enbart KVVVT 1, avskiljning på enbart KVVVT 2 samt avskiljning på både KVVVT 1 och KVVVT 2.

Då det finns en korrelation mellan mängden avskild koldioxid och kostnaden för transport och logistik har samtliga tre scenarios utvärderats även i detta delprojekt. För kostnader så användes en valutakonverteringsfaktor på 0,1 mellan SEK och EUR.

Omvärldsanalys

Utvecklingen inom CCS och CCU går fort framåt. I Europa är länderna Storbritannien, Nederländerna, Norge, Tyskland, Danmark, Frankrike och Sverige starka spelare som alla planerar att investera stort i CCS och CCU som klimatåtgärder. Men även i andra länder pågår ett intensivt utvecklingsarbete. Finland och Sverige är exempel på länder där den stabila tillgången på biogent bränsle och de utvecklade fjärrvärmenäten innebär att Bio-CCS kommer att vara avgörande, inte bara för att minska våra koldioxidutsläpp, utan även för att producera negativa utsläpp.

Utvecklingen av CCS och CCU innebär att stora investeringar i infrastruktur för transport och lagring av koldioxid kommer vara nödvändiga. Det finns långtgående planer på kluster i hamnar runt om i hela Europa dit koldioxiden ska transporteras via omfattande rörledningsnät samt via lastbilar och tåg. Olika aktörer har gått ihop i gemensamma satsningar för att effektivisera transporten av koldioxid. I Sverige pågår exempelvis det gemensamma projektet CnetSS där aktörer i södra Sverige utreder möjligheterna för ett koldioxidkluster med Malmö Hamn som tänkt utskeppningshamn⁴⁶. I Göteborgs Hamn har projektet CinfraCap visat på potentialen att hantera upp till 4 miljoner ton CO₂ årligen. Längre norrut pågår projektet NICE i Stockholm där aktörer i Mälardalen utreder Stockholm Norviks hamn som lämplig koldioxidhub och i Gävle Hamn har ett liknande utredningsarbete skett för Mellansverige.

CNetSS

Under hösten 2022 startade ett samverkansprojekt för infrastrukturlösningar för transport och permanent lagring av infångad koldioxid. Projektet kallas för CNetSS (Carbon Network South Sweden). Projektet leds av Växjö Energi och ska bidra till att skapa hållbara och kostnadseffektiva lösningar för en regional koldioxidinfrastruktur i Sydsverige. CNetSS har som långsiktigt mål att öka potentialen för utsläppsminskning och negativa utsläpp. Detta genom att etablera en hållbar och kostnadseffektiv koldioxidinfrastruktur i Sydsverige för transport från utsläppsanläggningar till slutlig geologisk lagring av koldioxid.

Förutom Växjö Energi ingår nio andra aktörer i projektet: Copenhagen Malmö Port, E.ON, Höganäs AB, Kemira, Krafringen, Nordion Energi, Stora Enso, Sysav och Öresundskraft. Flera av företagen har tidsatta planer på att fånga in koldioxid. Tillsammans finns potential att avskilja och lagra över 2 miljoner ton koldioxid årligen.

⁴⁶ Sydsvenskt projekt för att fånga in koldioxid - <https://www.veab.se/om-oss/satsningar-och-projekt/cnetss/>

Göteborgs Hamn

Göteborgs Hamn var tidigt ute med projektet Cinfracap. Det startade som ett samarbetsprojekt mellan Nordion Energi, Göteborg Energi, Renova, Göteborgs Hamn, Preem och ST1. I november 2022 avslutades fas 2 av projektet vilket var en fördjupad förstudie och nu pågår arbetet med att forma nästa fas. Intentionen är att skapa ett nav med en kapacitet på 4 miljoner ton CO₂ årligen som är öppen för alla⁴⁷.

Stockholm Norvik

Stockholm Norviks Hamn strax norr om Nynäshamn har tillsammans med Stockholm Exergi, Mälarenergi, Söderenergi, Vattenfall, Heidelberg Materials, Nordkalk och Plagazi erhållit stöd från Energimyndighetens Industriklivet för förstudien NICE - Norvik Infrastructure CCS East Sweden med mål om att arbeta fram ett förslag på systemlösning för ett koldioxidnav. Tidiga uppskattningar visar att Stockholm Norvik har en potential på att hantera upp emot 9 miljoner ton CO₂ årligen. Förstudien startade i september 2023 och pågår fortfarande under arbetet med denna rapport⁴⁸.

Gävle Hamn

Gävle Hamn har tillsammans med närliggande Gävle Energi genomfört en studie där det konstaterats att det finns en potential om ca 5 miljoner ton CO₂ inom en radie på 10 mil som skulle kunna skeppas ut från Gävle Hamn.

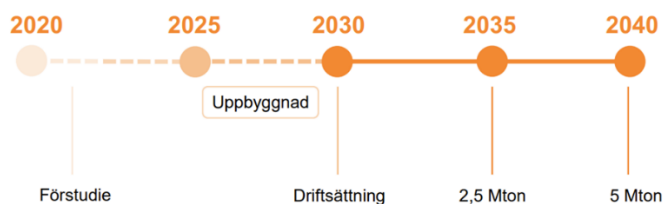


Figur 17 Översiktsbild av Gävle Hamn med en fiktiv koldioxidhamn i förgrunden. Bildkälla: Gävle Hamn.

Med tillgång på lämpliga ytor, bra infrastruktur för såväl järnväg, sjöfart som lastbilstransport samt substantiella volymer koldioxid i närområdet bedöms därför förutsättningarna goda.

⁴⁷ Unikt samarbete för transport av koldioxid - <https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/cinfracap/>

⁴⁸ <https://www.stockholmshamnar.se/om-oss/nyheter/2023/stockholm-norvik-hamn-mojligt-ccs-nav-och-viktig-pusselbit-for-att-na-nationella-klimatmal/>



Figur 18 Preliminär tidslinje för CCS i Gävle Hamn. Källa Gävle Hamn.

Trots att inga beslut ännu fattats, beräknas en terminal för CO₂ kunna vara i drift till år 2030⁴⁹ vilket kan ses i Figur 18.

Hamnar

Valet av en lämplig utskeppningshamn för koldioxid är en av de centrala faktorerna vid planeringen av logistik och transport för att möjliggöra effektiv och säker hantering av avskild koldioxid. Ett avgörande element vid bedömningen av lämpliga hamnar är storleken och kapaciteten hos de fartyg som kommer att användas för transporten. Detta kapitel fokuserar på att utvärdera utskeppningshamnar med avseende på fartygens djupgående, med särskild hänsyn till fartygens kapacitet och de tillgängliga djupen i olika hamnar.

En av de mest betydelsefulla faktorerna är djupgåendet hos fartygen som ska användas för koldioxidtransport. Större fartyg med en lagringskapacitet på över cirka 20 000 m³ kräver ett betydande djup i hamnen för att möjliggöra effektiv in- och utlastning. Djupet i hamnen är kritiskt för att säkerställa smidig och säker navigering för dessa större fartyg.

Baserat på en kartläggning av olika hamnar utförd av Klimpo visar majoriteten av de tillfrågade hamnarna att de redan har eller planerar att genomföra arbete för att öka sina djup. För fartyg med en kapacitet på över 20 000 m³ krävs ett minimidjup på 10 meter. De största planerade fartygen kräver ett djup på 13 meter, vilket för närvarande endast möts av Göteborg, Gävle, Luleå och Stockholm Norvik hamnar. Tabell 20 visar på nuvarande samt planerat djup för ett urval av svenska hamnar.

Tabell 20 Kartläggning över djupgående i olika hamnar

Hamn	Djup	Planerat djup
Göteborgs Hamn	13,5	17,5
Stockholm Norvik	16,5	
Umeå Hamn	9,2	11
Luleå Hamn	15	
Gävle Hamn	13,4	

⁴⁹ <https://gavlehamn.se/mangmiljonstod-beviljat-gavle-energi-och-gavle-hamn-till-projekt-for-koldioxidlagring/>

Majoriteten av de kartlagda hamnarna har antingen redan uppfyllt kraven eller planerar att uppdatera sina djup för att hantera större fartyg. Emellertid är det värt att notera att det finns andra hamnar vars djup ännu inte möter de krav som de allra största planerade fartygen ställer. Detta visar på vikten av att kontinuerligt utvärdera och uppdatera hamnarnas infrastruktur för att möta behoven för framtida koldioxidtransporter. Det är också viktigt att notera att det största möjliga djupgående för att kunna gå in i Östersjön via Öresund är 9 meter. Fartyg med ett större djupgående är hänvisade till passage via Stora Bält vilket kan innebära en omväg beroende på vald lagringsplats⁵⁰.

Fartyg

Majoriteten av lagringsplatserna för koldioxid i norra Europa är belägna till havs. Det innebär att fartyg kommer att spela en central roll i logistikkedjan. Mindre fartyg och pråmar kan också vara användbara för kortare transporter på floder och sjöar, vilket kan erbjuda kostnadseffektiva alternativ beroende på den geografiska placeringen av avskiljningsanläggningen.

Introduktionen av rena koldioxidtransporter till havs är en nyligen uppkommen nisch. I juni 2022 var 14 fartyg globalt beställda och under konstruktion⁵¹. Dessa fartyg är visserligen kostsamma men förväntas ha en livslängd på minst 25 år. Leveranstiden för ett nytt fartyg från beställning beräknas till 3–4 år.

Olika lagringsaktörer har sett behovet av att äga och driva fartyg i egen regi. Här planerar lagringsaktörerna att erbjuda fartygstransporter som ett paketerbjudande tillsammans med slutlagringen. Ett exempel är Northern Lights, som beställde två fartyg med en kapacitet på 7 500 m³ vardera i oktober 2021. Dessa fartyg förväntas levereras under kvartal 2 2024 och kommer att drivas av LNG, kompletterat med vindkraft för att minska bränsleanvändningen. Northern Lights har också utvecklat designen för större fartyg med en kapacitet på 12 000 m³, med specifikationer för tryck och temperatur enligt standarden inom livsmedelsindustrin vilket är 15 bar och -25°C.

Horisont Energi har konstruerat ett kombinationsfartyg för transport av både flytande koldioxid och ammoniak, med en kapacitet på 18 000 m³ och Carbfix samarbetar med DanUnity CO₂ för att designa fartyg med olika kapaciteter anpassade för koldioxidtransport, med specifikationer för tryck och temperatur enligt industristandarder.

Altera Infrastructure (Stella Maris projekt) siktar på att bygga större fartyg med kapacitet upp till 50 000 m³ samt utvecklar flytande terminaler för koldioxidhantering, vilka kan placeras i hamnar och flyttas vid behov.

⁵⁰ [https://www.ostersjon.fi/sv-](https://www.ostersjon.fi/sv-FI/Naturen_och_dess_forandring/Unika_Ostersjon/Ostersjon_i_siffror)

FI/Naturen_och_dess_forandring/Unika_Ostersjon/Ostersjon_i_siffror

⁵¹ Enligt diskussion med Martin Rödén, Captimise

Storegga samarbetar med olika företag för att designa fartyg för koldioxidtransport.

Utöver lagringsaktörerna så finns även ett stort intresse för koldioxidtransporter hos renodlade rederier. Detta möjliggör för utsläppare att teckna avtal direkt med rederierna, antingen genom Contract of Affreightment (CoA) eller Time Charter (TC). Vid CoA avtalar parterna om ett strikt schema med månadsvisa transporter och volymer där skeppsägaren ansvarar för försäkringar, fartyget och dess besättning men även för alla kringkostnader i form av exempelvis hamnavgifter och bränsle. Utsläpparen betalar då en förbestämd fast kostnad per exempelvis ton CO₂. Vid TC chartrar utsläpparen i stället ett fartyg och står då för alla kringkostnader. Skeppsägaren ansvarar dock fortfarande för besättning, underhåll och försäkringar. Detta är ett mer flexibelt alternativ då utsläpparen själv kan styra över tidtabeller men ställer större krav på intern organisation. Alternativet kan vara fördelaktigt när avskiljningen av koldioxid påverkas stort av exempelvis säsongsskillnader.

Tåg

Tågtransporter av flytande koldioxid sker redan idag för ändamål inom exempelvis livsmedelsindustrin. I Sverige finns dock enbart ett fåtal järnvägsvagnar anpassade för detta ändamål och med en hastig utveckling av CCS och CCU kommer stora nybeställningar av vagnar att behöva göras inom närtid vilket innebär långa leveranstider.

Den vanligast förekommande vagnstypen är av modell Zags och har en lastkapacitet på 65 ton flytande koldioxid med ett tryck på 15 bar och temperatur – 25 °C.



Figur 19 Till vänster visas vagn av typ Zags och till höger exempel på containervagn för koldioxid

Det finns även andra typer av vagnar som exempelvis containervarianter med en lastkapacitet på 19 ton.

Lagringsplatser

I studien presenteras en översikt över de potentiella lagringsområdena för koldioxid i Norden, särskilt i Nordsjön och dess omgivningar, samt ger en internationell jämförelse med identifierade områden i Nordamerika och Central- och Östeuropa.

De vanligaste typerna av lagringsplatser är salina akvifärer, lagring i basaltformationer, nedlagda oljefält och nedlagda gasfält.

- Salina akvifärer bedöms ha potential för stora volymer men ställer stora krav på geologiska undersökningar då bergsförhållandena kan vara osäkra.
- Basalt reagerar kemiskt med koldioxiden i en relativt snabb mineraliseringsprocess. Åldern på basalten har dock stor betydelse för lämpligheten för koldioxidlagring. Yngre basalt, som exempelvis på Island, lämpar sig bättre för koldioxidlagring än äldre, som exempelvis i norra Sverige, på grund av att den är mer porös.
- Vid olje- och gasfält är kunskapen och kännedomen om de geologiska förutsättningarna god vilket borgar för en hög säkerhet.

Samtliga typer av lagringsplatser bedöms ha god potential med både för- och nackdelar.

Lagringspotential i Norden

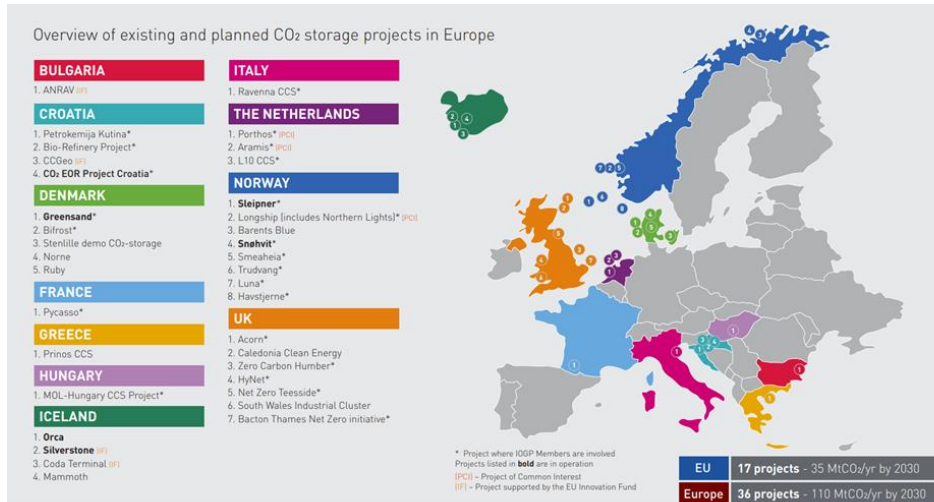
Det uppskattas att Norden, och då särskilt Nordsjön, erbjuder gynnsamma förhållanden för permanent lagring av koldioxid. De 18 mest lämpliga lagringsplatserna i Norden beräknas ha en samlad teoretisk kapacitet på över 86 Gt, motsvarande mer än 500 års utsläpp av koldioxid inom den nordiska regionen. Därför har ett betydande antal intressenter utforskat möjligheterna för storskalig koldioxidlagring i områden som Nordsjön, Barents hav, kring Island och utanför de brittiska öarna. Flera pågående projekt har redan inletts, och ansökningar om tillstånd för ytterligare verksamhet har lämnats in.

Utöver lagringsmöjligheterna i Nordsjön har Danmark identifierat förutsättningar för lagring på land, medan Sverige genom Statens Geologiska Undersökning (SGU) utforskar potentialen för permanent lagring i Östersjön och planerar att starta provborrningar inom kort. Privata aktörer har också visat intresse för lagring i svenskt vatten och genomför sina egna utredningar. SGU är försiktiga och uppskattar att det kommer dröja upp till 30 år innan lagring i svenska vatten blir aktuellt medan flera privata aktörer är betydligt mer positiva och hävdar att det är möjligt inom ett fåtal år.

Förutom dessa områden har tidigare undersökningar antytt att havsbotten utanför de baltiska staterna kan vara lämpliga för permanent lagring, även om djupgående utredningar ännu inte har genomförts.

Internationella Lagringsområden

I Nordamerika, Central- och Östeuropa har ett antal avlagda olje- och gasfält på land identifierats som potentiellt lämpliga för permanent lagring av koldioxid. I dag pågår flera pilotprojekt i USA med kapacitet att potentiellt hantera mellan 0 och 7 miljoner ton koldioxid årligen vardera.



Figur 20 Karta över aktiva samt planerade lagringsplatser i Europa. Källa: www.iogpEurope.org

I Figur 20 ses en karta över aktiva och planerade lagringsplatser i Europa.

Lagringsaktörer

I arbetet med denna studie har projektgruppen identifierat ett antal lagringsaktörer som har gjort betydande framsteg i sina projekt för att lagra koldioxid. Nedan presenteras ett urval av lagringsaktörer som representerar olika geografiska områden och strategier för lagring av koldioxid:

Northern Lights

Northern Lights, en koalition mellan Shell, Equinor och TotalEnergies, spelar en central roll i det norska Longship-projektet. Deras infrastruktur, som förväntas vara i drift från 2025, har potential att årligen lagra upp till 5 miljoner ton koldioxid när den är i full drift, och i den initiala fasen beräknas 1,5 miljoner ton kunna lagras årligen. Även om Northern Lights huvudsakligen är avsedd för de norska projekten inom Longship-projektet, kommer dess överkapacitet att erbjuda lagringsmöjligheter för andra aktörer.

Horisont Energi

Horisont Energi arbetar med både permanent lagring och vätgasproduktion parallellt. Med den planerade lagringsplatsen Polaris, som förväntas vara i drift från år 2026, och en annan ansökt lagringsplats benämnd Errai, prognostiserar Horisont Energi en total lagringskapacitet på över 100 miljoner ton. Deras mål är att ha Errai i drift senast år 2029.

Project Greensand

Projekt Greensand, lokaliserat nordväst om Danmark, använder nedlagda gas- och oljefält för koldioxidlagring. Efter ett framgångsrikt pilotförsök 2023 förväntas projektet kunna lagra upp till 1,5 miljoner ton CO₂ år 2026 och eventuellt 8 miljoner ton år 2030 vid fullskalig drift.

CarbonCuts

Det danska företaget CarbonCuts fokuserar på att lagra koldioxid på land i närheten av Rødby i Danmark. Med en förväntad total lagringskapacitet på upp till 300 miljoner ton, utnyttjar CarbonCuts sin geografiska närhet till Norden och kontinenten samt tillgång till både hamn och järnvägsanslutning.

Carbfix

Carbfix på Island utvecklar en unik metod för koldioxidlagring i basalt berggrund. Deras teknik, som involverar kemiska reaktioner som omvandlar koldioxid till solida karbonatmineraler på så kort tid som 2 år, har visat sig vara både hållbar och säker även om den kräver en betydande mängd vatten. Carbfix förväntas kunna lagra upp till 300 miljoner ton koldioxid och räknar med att kunna ta emot och lagra 0,3 miljoner ton årligen från år 2025.

Endurance

The Northern Endurance Partnership (NEP) beräknas ha en imponerande kapacitet att lagra 540 miljoner ton koldioxid i nedlagda olje- och gasfält utanför Storbritanniens östra kust. NEP får statligt stöd från UK Government's Industrial Decarbonization Challenge för att påskynda utvecklingen av lagrings- och transportinfrastruktur i Nordsjön.

Storegga

Storegga driver flera projekt utanför Skottlands östkust, varav det mest kända är Acorn. Acornprojektet inkluderar koldioxidtransport och lagring samt produktion av blå vätgas. Med en kapacitet på 16 miljoner ton CO₂ planeras Acorn att vara i drift från 2026 och kommer att vara tillgängligt för tredje part. Storegga erbjuder också ett fullservice-avtal, Storegga Integrated, som täcker hela CCS-värdekedjan från avskiljning till lagring och möjliggör samarbete med andra lagringsaktörer.

Stella Maris (Altera Infrastructure)

Stella Maris satsar på att erbjuda en komplett logistisk lösning för lagring av koldioxid. De strävar, med hjälp av samarbetspartners samt med egna resurser, efter att kunna erbjuda en full värdekedja. Från avskiljning till permanent lagring. Genom egna koldioxidhubbar, fartyg och flytande injektionsenheter räknar Stella Maris med att respektive projekt kommer ha kapacitet att lagra 10 miljoner ton CO₂ årligen.

Kostnadsanalys permanent lagring

Prissättningen för permanent lagring är till dags datum inte fastsatt. Detta då majoriteten av lagringsaktörerna fortfarande befinner sig i utvecklingsfaser och är osäkra kring vad totalkostnaden kommer uppgå till. Under de kommande åren kan vi förvänta oss att prissättningen blir tydligare samtidigt som ökad konkurrens mellan aktörerna bör pressa priserna nedåt. Genom egna efterforskningar har projektgruppen kommit fram till att ett troligt prisintervall de närmaste åren kommer ligga på mellan 100–200 SEK per ton, medan en tidig uppskattning från Zero Emissions Platform ger ett bredare prisintervall på mellan 10–200 SEK/ton. Detta beroende på typ av lagringsplats samt om lagringen sker onshore eller

offshore. I denna studie har dock priset för lagring bestämts till 200 SEK per ton för att säkerställa en viss säkerhetsmarginal.

Dock kommer utsläppare och lagringsaktörer att genomgå förhandlingar och den slutliga prissättningen kommer bli individuell. Utvecklingen som sker med aktörer som erbjuder paketalösningar för hela logistikkedjan kommer också att påverka prissättningen.

Jönköping Energi

I fallet Jönköping Energi har tre alternativa transport- och logistikalternativ (koncept) utretts. De potentiella volymer som teknikstudien anger ligger till grund för valet av logistikalösningar. Det ska noteras att kostnaden för transport och lagring av koldioxid påverkas av volymen vilket ger att en ändring i volym inte direkt kan överföras på kostnaderna. De valda alternativen för permanent lagring ska ses som representativa lagringsplatser. Som beskrivet i kapitlet ovanför finns ett stort urval av alternativ för permanent lagring. Kostnader och specifikationer kan dock skilja sig mellan dem.

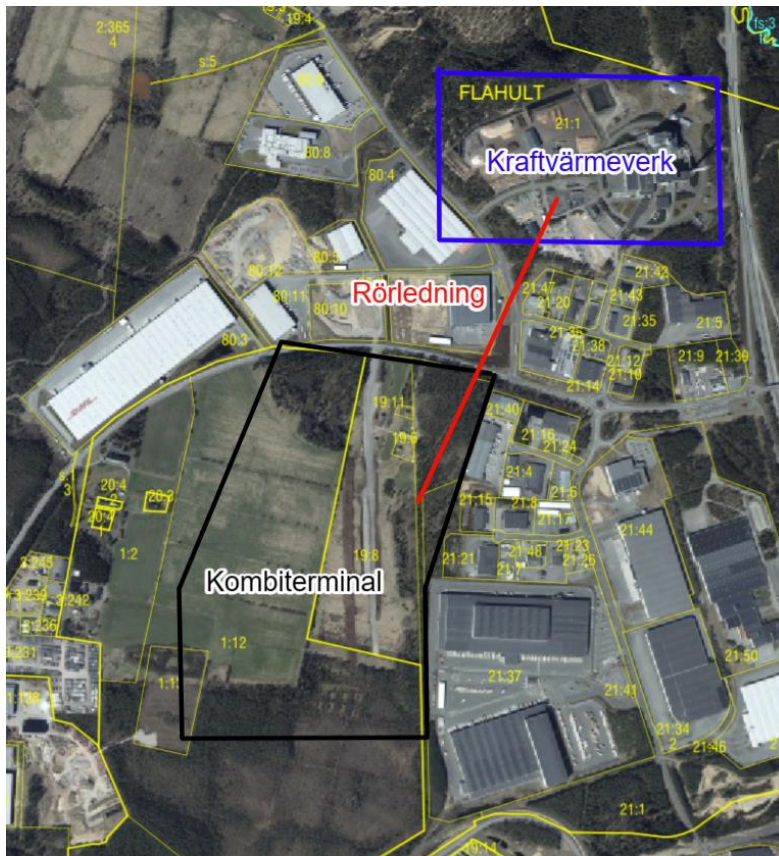
I detta delprojekt har följande scenarier och avskiljningsvolymer använts som underlag för beräkningar.

- | | |
|--|----------------|
| - Scenario 1: KVVVT 1, full avskiljningsgrad, | 180 000 ton/år |
| - Scenario 2: KVVVT 2, full avskiljningsgrad, | 160 000 ton/år |
| - Scenario 3: KVVVT 1+2, full avskiljningsgrad | 340 000 ton/år |

För varje scenario har 3 koncept för transport och lagring utvärderats. Respektive koncept är beskrivet nedan.

Koncept 1: Den avskilda koldioxiden transporteras via rörledning till den närliggande kombiterminalen som planeras att byggas strax sydväst om Torsvikverket. Där mellanlagras koldioxiden och lastas över till tågvagnar för vidare transport till något av nedan alternativ:

- Rødby i Danmark där koldioxiden lagras permanent i lagringsplats belägen på land (onshore).
- Göteborgs Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).
- Stockholm Norvik Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).

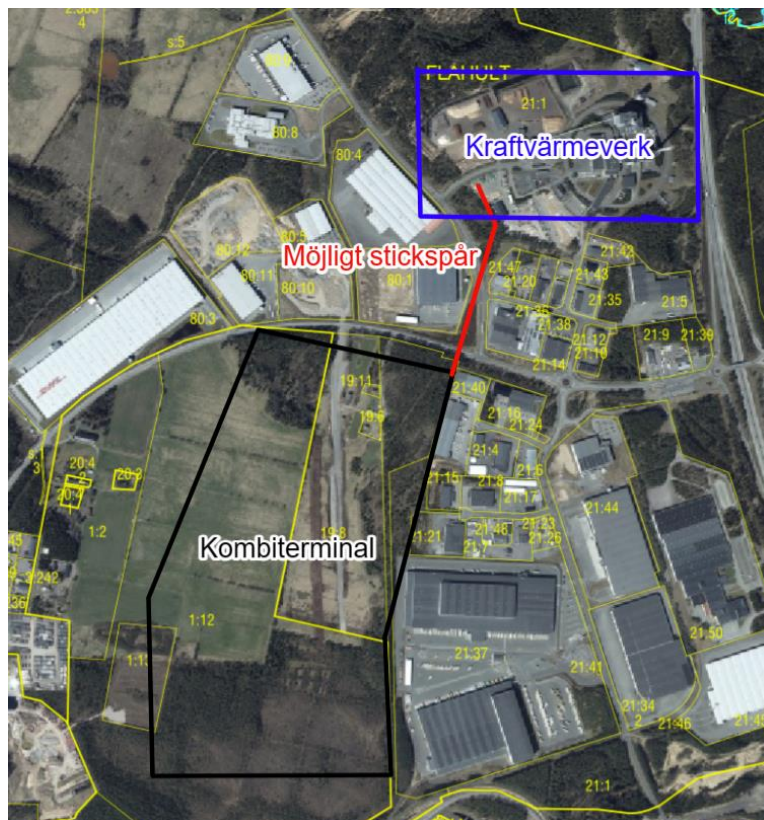


Figur 21 Översiktsbild för logistikkoncept 1

I Figur 19 ses en överblicksbild för logistikkoncept 1 med rörledning till kombiterminal.

Koncept 2: Ett stickspår byggs från den närliggande planerade kombiterminalen in på kraftvärmeverket Torsviks område. Den avskilda koldioxiden lastas där direkt från ett mellanlager beläget vid avskiljningsanläggningen över till järnvägsvagnar för vidare transport till något av nedan alternativ:

- Rødby i Danmark där koldioxiden lagras permanent i lagringsplats belägen på land (onshore).
- Göteborgs Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).
- Stockholm Norvik Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).

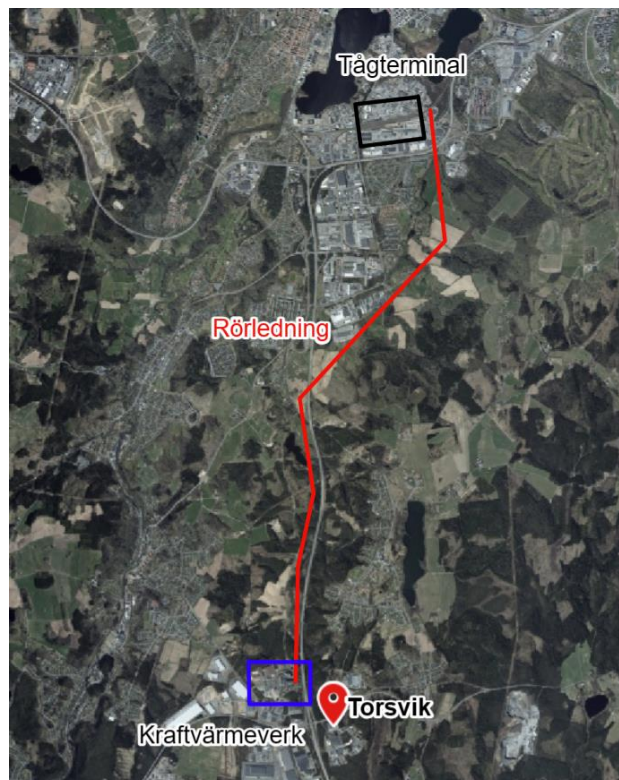


Figur 22 Översiktsbild för logistikkoncept 2

I Figur 22 ses en översiktsbild för logistikkoncept 2 med stickspår från kombiterminal.

Koncept 3: Den avskilda koldioxiden transporteras via rörledning till den befintliga tågterminalen i Jönköping. Där mellanlagras den inför transport med tåg till något av nedan alternativ:

- Rødby i Danmark där koldioxiden lagras permanent i lagringsplats belägen på land (onshore).
- Göteborgs Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).
- Stockholm Norvik Hamn där koldioxiden mellanlagras inför vidare transport med fartyg ut till Northern Lights i Nordsjön där den lagras permanent i lagringsplats belägen till havs (offshore).



Figur 23 Översiktsbild för logistikkoncept 3

I Figur 23 ses en översiktsbild för logistikkoncept 3 med rörledning till tågterminal i centrala Jönköping.

Mellanlager

Samtliga utvärderade scenarier är beroende av ett mellanlager, antingen på plats vid Torsvik, vid den nya kombiterminalen eller vid den befintliga tågterminalen. I mellanlagret lagras den flytande koldioxiden tills att den kan lastas över på tåg eller lastbil. Storleken på mellanlagret skiljer sig beroende på vilket scenario som väljs. I Tabell 21 nedan visas valt scenario, maximal daglig avskiljning, nödvändig volym på mellanlager, nödvändig area för placering av tankar samt beräknad investeringskostnad (CAPEX). Då volymerna överstiger 100 m³ rekommenderas användning av sfäriska tankar för mellanlagring.

Den uppskattade nödvändiga volymen baseras på den dagliga avskiljningsgraden, att transporter från mellanlagret sker dagligen och med en viss säkerhetsmarginal i händelse av avbrott i transportkedjan.

Tabell 21 Beskrivning av nödvändiga volymer och areor för mellanlagring lokalt

Scenario	Max. daglig avskiljning (ton)	Nödvändig volym (m ³)	Nödvändig area (m ²)	Ber. investering (MSEK)
Scenario 1	700	2100	1050	34
Scenario 2	1400	4200	2100	39
Scenario 3	2100	6300	3200	50

I Tabell 21 ses att erforderlig area för mellanlager är mellan 1 050 – 3 200 m² beroende på vilket volymscenario som blir aktuellt.

Rörledningar

I logistikkoncept 1 och 3 ingår att en rörledning dras från Torsvik till den närbelägna kombiterminalen (Koncept 1) eller den befintliga tågterminalen i Jönköping (Koncept 3) för omlastning till tåg.

Tabell 22 Tabell över investeringskostnad för rörledning

Logistikkoncept	Längd rörledning (m)	Investeringskostnad per meter (SEK)	Ber. investering (MSEK)
Koncept 1	1 000	10 000	10
Koncept 3	10 000	10 000	100

Tabell 22 ses investeringskostnader för rörledning. Investeringskostnaden för en rörledning i bebyggt område uppskattas till 10 000 SEK per meter. I kostnadsuppskattningen ingår materiel samt schaktning. Rörledningar har generellt låga driftskostnader men en hög investeringskostnad. Ett visst elbehov föreligger dock för att driva pumpar vilket ökar ju längre rörledningen är. I koncept 1 uppskattas längden på rörledningen till ca 1 km och i koncept 3 uppskattas längden på rörledningen till ca 10 km.

Stickspar

Logistikkoncept 2 bygger på att ett stickspar anläggs från kraftvärmeverket till den planerade framtida kombiterminalen placerad strax sydväst om kraftvärmeverket. För att tågets färdriktning ska kunna ändras på sticksparret krävs ett dubbelspar där loket kan växlas och köras förbi vagnarna och kopplas på i motsatt färdriktning.

Tabell 23 Tabell över investeringskostnad för stickspar

Logistikkoncept	Längd stickspar (m)	Investeringskostnad per meter (SEK)	Ber. investering (MSEK)
Koncept 2	1 000	38 000	38

I Tabell 23 ses investeringskostnaden för stickspar. Kostnaden för anläggning av dubbelspar uppskattas till 38 000 SEK/m.

Tåg

Samtliga logistikkoncept bygger på att koldioxiden transporteras via tåg från plats i Jönköping till en hamn. I Scenario 1 och 2 bygger beräkningarna på att 1 tågset bestående av 16 vagnar avgår dagligen från Jönköping. I Scenario 3 bygger beräkningarna på att 2 tågset bestående av 16 vagnar vardera avgår dagligen.

Fartyg

Om permanent lagring i Nordsjön väljs bygger beräkningarna i samtliga logistikkoncept på att den sista delen av transportkedjan sker via fartyg från antingen Stockholm Norvik eller Göteborgs Hamn. De uppskattade kostnaderna baseras på att hamnen fungerar som ett kluster där koldioxid från flera utsläppskällor ackumuleras och skeppas sammanslagna.

Lastbil

Alternativet att transportera koldioxiden med lastbil har i denna studie valts bort då de maximala dagliga volymerna av avskild koldioxid är stora och lastbilarnas lastkapacitet är låg. Det innebär att ett mycket stort antal lastbilar skulle krävas vilket dels blir kostnadsdrivande och utmanande att hantera ur logistiskt hänseende. Väljer Jönköping Energi att satsa på att avskilja mindre volymer än i de scenarios som beräknats i denna studie kan lastbilstransporter dock vara ett rimligt alternativ som en del i transportkedjan.

Kostnadssammanställning

En kostnadssammanställning har genomförts för de tre olika logistik & transportscenarios i studien, volymscenario 1 (180 000 ton CO₂/år), volymscenario 2 (160 000 ton CO₂/år) och volymscenario 3 (340 000 ton CO₂/år).

Volymscenario 1 (180 000 ton CO₂/år)

I Tabell 24 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 1 för respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Göteborgs hamn som utskeppningshamn.

Tabell 24 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Total-kostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	90	110	100	200	550
2	40	-	90	110	100	200	540
3	40	30	90	110	100	200	570

I Tabell 25 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 1 och respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Stockholm Norvik som utskeppningshamn.

Tabell 25 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	100	110	160	200	620
2	40	-	100	110	160	200	610
3	40	30	100	110	160	200	640

I Tabell 26 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 1 och respektive logistikkoncept med lagring på land i Rødby som slutdestination.

Tabell 26 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med lagring på land i Danmark

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	120	-	-	200	370
2	40	-	120	-	-	200	360
3	40	30	120	-	-	200	390

Logistikkoncept 2 ger lägst totalkostnad, medan logistikkoncept 3 ger högst. Dock skiljer det inte mycket mellan alternativen.

Volymscenario 2 (160 000 ton CO₂/år)

I Tabell 27 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 2 och respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Göteborgs hamn som utskeppningshamn.

Tabell 27 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn

Logistik - koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/tonCO ₂)
1	40	10	90	110	100	200	550
2	40	-	90	110	100	200	540
3	40	30	90	110	100	200	570

I Tabell 28 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 2 och respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Stockholm Norvik som utskeppningshamn.

Tabell 28 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	100	110	160	200	620

2	40	-	100	110	160	200	610
3	40	30	100	110	160	200	640

I Tabell 29 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 2 och respektive logistikkoncept med lagring på land i Rødby som slutdestination.

Tabell 29 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med lagring på land i Danmark

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	120	-	-	200	370
2	40	-	120	-	-	200	360
3	40	30	120	-	-	200	390

Logistikkoncept 2 ger lägst totalkostnad, medan logistikkoncept 3 ger högst totalkostnad. Dock skiljer det inte mycket mellan alternativen

Volymscenario 3 (340 000 ton CO₂/år)

I Tabell 30 nedan sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 3 och respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Göteborgs hamn som utskeppningshamn.

Tabell 30 Kostnadssammanställning volymscenario 3 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/tonCO ₂)
1	40	10	70	110	70	200	500
2	40	-	70	110	70	200	490
3	40	20	70	110	70	200	510

I Tabell 31 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 3 och respektive logistikkoncept med lagring i Nordsjön som slutdestination och Stockholm Norvik som utskeppningshamn.

Tabell 31 Kostnadssammanställning volymscenario 3 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn

Logistik-koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	80	110	120	200	560
2	40	-	80	110	120	200	550
3	40	20	80	110	120	200	570

I Tabell 32 sammanfattas kostnaderna för transport- och logistikkedjan för volymscenario 3 och respektive logistikkoncept med lagring på land i Rødby som slutdestination.

Tabell 32 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med lagring på land i Danmark

Logistik- koncept	Mellanlager (OPEX)	Rörledning (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO ₂)
1	40	10	110	-	-	200	360
2	40	-	110	-	-	200	350
3	40	20	110	-	-	200	370

I samtliga volymscenarior blir alternativet att transportera koldioxiden via tåg till Rødby i Danmark det mest kostnadseffektiva alternativet sett till driftskostnad (OPEX). Lägst total driftskostnad uppnås genom att ansluta ett stickspår in till kraftvärmeverket från den kombiterminal som planeras i Torsvik. Från kombiterminalen transporteras sedan koldioxiden via tåg hela vägen till Rødby i Danmark.

Investeringskostnaden (CAPEX) blir däremot lägst om en rörledning anläggs mellan kraftvärmeverket och den planerade kombiterminalen. För rörledning ca 10 miljoner SEK jämfört med ca 38 miljoner SEK för ett stickspår. Investeringskostnaden för mellanlager är samma för samtliga logistikkoncept och uppskattas till ca 50 miljoner SEK.

I Tabell 33 ses en jämförelse OPEX + CAPEX i SEK/ton CO₂ mellan logistikkoncept 1 och 2 med tågtransport till Rødby i Danmark.

Tabell 33 Kostnadsjämförelse OPEX + CAPEX i SEK/ton CO₂ mellan logistikkoncept 1 och 2 med tågtransport till Rødby i Danmark

Logistik koncept	Mellan- lager (OPEX)	Mellan- lager (CAPEX)	Rörlednin g/stickspå r (CAPEX)	Rörledning /stickspår (OPEX)	Tåg (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostna d (SEK/ton CO ₂)
1	40	140	30	10	110	200	530
2	40	140	110	10	110	200	610

Totalkostnaden (OPEX+CAPEX) i SEK/ton CO₂ visar alltså att rörledning till kombiterminal för vidare tågtransport till Rødby i Danmark (logistikkoncept 1) är det billigaste alternativet.

Regler för transport

Den som transporterar farligt gods eller överlämnar farligt gods till någon annan för transport är ansvarig för att vidta nödvändiga skyddsåtgärder och försiktighetsåtgärder. Syftet är att förebygga och förhindra eventuella skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppstå som en följd av transporten. Detta

kräver att de använda transportmedlen och transportanordningarna är ändamålsenliga för att transportera koldioxid.

Järnväg

Transport av farligt gods via järnväg detaljregleras av föreskriften (MSBFS 2022:4) om transport av farligt gods på järnväg (RID-S 2023). Eventuell transport av koldioxid som sker via järnväg kommer utföras av en extern transportör som ansvarar för en säker hantering av koldioxiden. Sådan operatör kommer vara ansvarig för att utrustning uppfyller krav för säker transport samt tillstånd för transport på järnväg.

Rörledning

För att anlägga en rörledning som ska transportera koldioxid och som är längre än 20 kilometer behövs tillstånd från regeringen (koncessionsplikt) enligt 1 § lag om vissa rörledningar (1978:160). Koncessionstiden är högst 40 år i taget. Koncession får inte strida mot en detaljplan eller områdesbestämmelser. Andra aktörer har rätt att använda rörledningen.

Ansökan skickas till Energimarknadsinspektionen som även godkänner drifttillstånd för rörledningen. Ledningsrätten förrättas av Lantmäteriet i enlighet med ledningsrättslagen 1973:1144. Dragningen kan överklagas till Mark- och Miljödomstolen.

Övrig rördragnings för koldioxid faller under samma punkt 4 i 2 § ledningsrättslagen som rörledning för fjärrvärmenätet. Ledningsrätten av rörledningen förrättas av Lantmäteriet och ska följa kommunens regler, inklusive detaljplaner och säkerhetsavstånd⁵².

En ledning får inte dras inom ett vägområde utan Trafikverkets tillstånd⁵³. Utöver tillståndet krävs ett avtal med Trafikverket för att få tillträde till vägområdet. Om ledningen kräver arbeten på järnväg krävs det också att man tecknar ett nyttjanderättsavtal med Trafikverket⁵⁴.

Diskussion

Studien visar på att en logistikkedja bestående av rörledning till den planerade närliggande kombiterminalen och vidare tågtransport till Danmark för lagring på land är det mest kostnadseffektiva alternativet med en total kostnad på ca 530 SEK/ton CO₂. Att studien valt att ange CarbonCuts planerade lagringsplats i Rødby i Danmark som slutdestination är enbart tänkt som ett exempel. Vid slutförandet av denna studie pågår en tillståndsansökan i Danmark där flera

⁵² 7 § och 8 § ledningsrättslagen.

⁵³ 44 § väglagen (1971:948).

⁵⁴ Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:

<https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/tillstand/ledningsarenden-inom-mark-och-jarnvag/>

aktörer deltar varav CarbonCuts är en. Resultatet av den tillståndsansökan förväntas presenteras under år 2024.

Permanent lagring på land (onshore) innebär kostnadsfördelar om koldioxiden kan transporteras på tåg oavbrutet hela vägen. Att omlasta koldioxiden innebär generellt alltid ökade kostnader. Dock kan en ökande konkurrens mellan lagringsaktörer samt potentiella klusterupplägg jämna ut kostnadsskillnaden och göra lagring till havs (offshore) mer attraktivt.

Kostnadsuppskattningarna tar inte hänsyn till eventuella investeringskostnader för exempelvis tågterminaler och hamnterminaler. Detta beror dels på att osäkerhetsfaktorn är för stor, dels på att ett potentiellt affärsupplägg och framtida ägarförhållanden för denna typ av anläggningar är oklara.

Kostnadsuppskattningarna har också en felmarginal på $\pm 50\%$ då stora delar av värdekedjan inte existerar idag.

Ett klusterupplägg där Jönköping Energi tillsammans med en grupp andra närliggande utsläppare går ihop och delar på investeringskostnader för mellanlager och tillhörande installationer skulle troligtvis vara fördelaktigt ur kostnadssynpunkt. Det skulle även ge fördelar för de löpande driftkostnaderna att kunna teckna avtal om permanent lagring och transporter för större volymer än Jönköping Energis egna. Exempel på närliggande aktörer som utreder möjligheterna till Bio-CCS är Skövde Energi med en potential att avskilja 127 000 ton/år och Katrinefors Kraftvärme med potential att avskilja 89 000 ton/år.

Ett annat alternativ för Jönköping Energi skulle vara att ansluta sig till redan befintliga kluster. CnetSS är ett sådant där exempelvis Växjö Energi deltar. För att kunna jämföra kostnaderna och bilda sig en uppfattning om vad det skulle innebära för Jönköping Energi krävs en djupare dialog med aktörerna inom CnetSS. Aktörerna inom CnetSS har en sammanslagen potential att avskilja över 2 miljoner ton koldioxid per år.

Ett alternativ som inte utvärderats inom studien men som är värt att nämna är möjligheterna för sjötransport över Vättern till annan ort i närområdet eller från Vättern via Göta kanal för längre transporter och senare omlastning till fartyg eller tåg. Exempelvis pråmar skulle potentiellt kunna vara ett alternativ för denna typ av transport. Denna möjlighet kan med fördel utredas vidare.

Under förutsättning att den nya kombiterminalen i Torsvik byggs som planerat och att Jönköping Energi erbjuds möjlighet att nyttja denna kan möjligheterna för en kostnadseffektiv transportkedja anses goda. Byggs kombiterminalen inte finns fortfarande möjligheten att nyttja den befintliga godsterminalen i Jönköping eller att anlägga en tågterminal någonstans längs befintliga järnvägsspår i Torsvik. Det

innebär dock ökade kostnader och utmaningar med transport med rörledning eller lastbil till järnväg med anledning av det ökade avståndet.

Utvecklingen av såväl lagringsplatser som logistiklösningar går idag fort fram. Det är därför viktigt att noga följa denna utveckling och fortsatt undersöka nya möjligheter.

Rekommendation

För att utforska möjligheterna med klusterupplägg vidare rekommenderas att påbörja dialoger med aktörerna inom CnetSS. Andra närliggande intressenter så som exempelvis Skövde Energi och Katrinefors Kraftvärme samt logistikbolag som exempelvis Green Cargo är också intressant att kontakta för att vidare utforska alternativet kluster i Jönköping.

Det är viktigt att i ett tidigt skede presentera Jönköping Energis planer för Torsviks Kombiterminal. Detta för att underlätta projekteringen av den nya kombiterminalen samt möjliggöra eventuella stickspår, mellanlager och rörledningar.

Genom dialog med tågoperatörer kan Jönköping Energi säkra tillgången till järnvägsvagnar och lok tidigt samt få tips om upplägg på effektiva tågtransporter. Det rekommenderas också att närmare studera tillgängliga ytor inom befintlig fastighetsbildning samt utforska närområdet för eventuell ytterligare yta som Jönköping Energi kan skapa sig tillgång till.

I detta skede kan med fördel även expertis inom rörläggning kontaktas för att utföra enklare förprojekteringar av rörledningar till kombiterminalen alternativt befintlig tågterminal i Jönköping. Detta skulle ge en säkrare kostnadsuppskattning av alternativet rörledning.

AP6 Finansiering

Inom arbetspaket 6 skall projektgruppen ta fram en affärsmodell för en fullskalig Bio-CCS anläggning på kraftvärmeverket Torsvik. Risker och kostnader skall identifieras längs hela logistikkedjan, från avskiljning till lagring alternativt användning. Delprojektet har också till uppgift att följa utvecklingen av styrmedel och bedöma konsekvenserna för Bio-CCS på Torsvik.

Kraftvärmeverket Torsvik består av två förbränningsanläggningar där KVVT 2 är en bioeldad fastbränslepanna och KVVT 1 en avfallspanna. Avfallspannan gör att Jönköping Energi faller in under Europeiska unionens system för handel med utsläppsrätter (EU ETS), den bioeldade anläggningen omfattas inte av detta handelssystem.

Då biogena koldioxidutsläpp inte ingår i EU ETS så saknas det idag ekonomiska incitament för att generera minusutsläpp med hjälp av Bio-CCS. Styrmedel och statsstöd är ett nödvändigt komplement för att i tidigt skede skapa och vidareutveckla värdekedjan och infrastrukturen för permanent lagring eller användning av biogen koldioxid.

Omvärldsbevakning

Som en del i projektgruppens arbete med framtagande av affärsmodell har omvärldsbevakning gjorts både internationellt, inom EU och nationellt i Sverige. Omvärldsbevakningen bevakar nya förordningar och ekonomiska styrmedel som berör Bio-CCS.

EU ETS – Handel med utsläppsrätter

EU ETS är ett marknadsbaserat ekonomiskt styrmedel som instiftades 2005 för att kostnadseffektivt minska utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser.

Handelssystemet infördes genom utsläppshandelsdirektivet⁵⁵ och har implementerats i svensk lag⁵⁶.

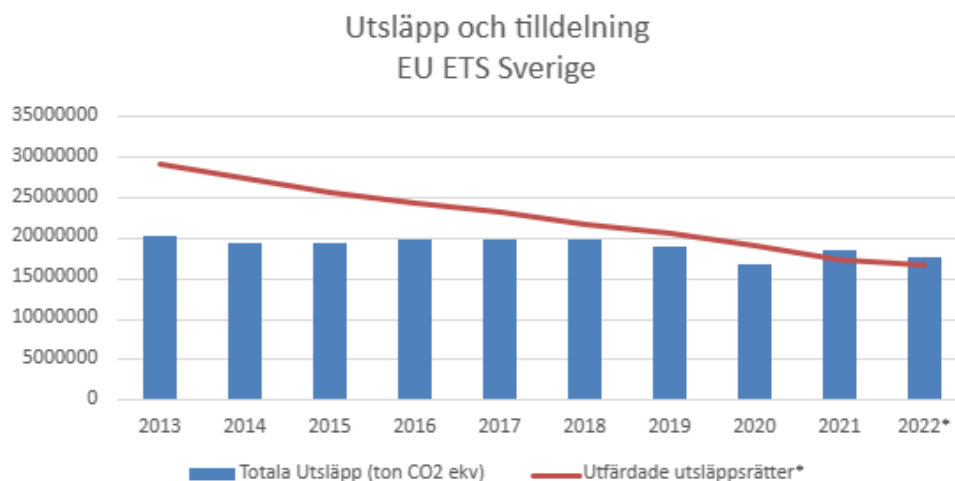
I Sverige omfattas cirka 700 anläggningar inom industri och energiproduktion av EU ETS av de totalt 13 000 anläggningarna i Europa. Alla verksamheter inom EU ETS måste lämna in utsläppsrätter för sina växthusgasutsläpp. Varje utsläppsrätt ger rätt att släppa ut 1 ton koldioxid. Större verksamheter med höga utsläpp av fossil koldioxid tilldelas gratis utsläppsrätter upp till en viss kvot⁵⁷. Om utsläppen överstiger denna kvot måste fler utsläppsrätter köpas. Företag på denna marknad kan handla med utsläppsrätter sinsemellan.

Genom att prissätta utsläppsrätter skapas en ekonomisk drivkraft att minska utsläppen. EU fastställer årligen utsläppstak för att nå klimatmålen, vilket resulterar i färre utsläppsrätter och högre pris per utsläppsrätt.

⁵⁵ Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG

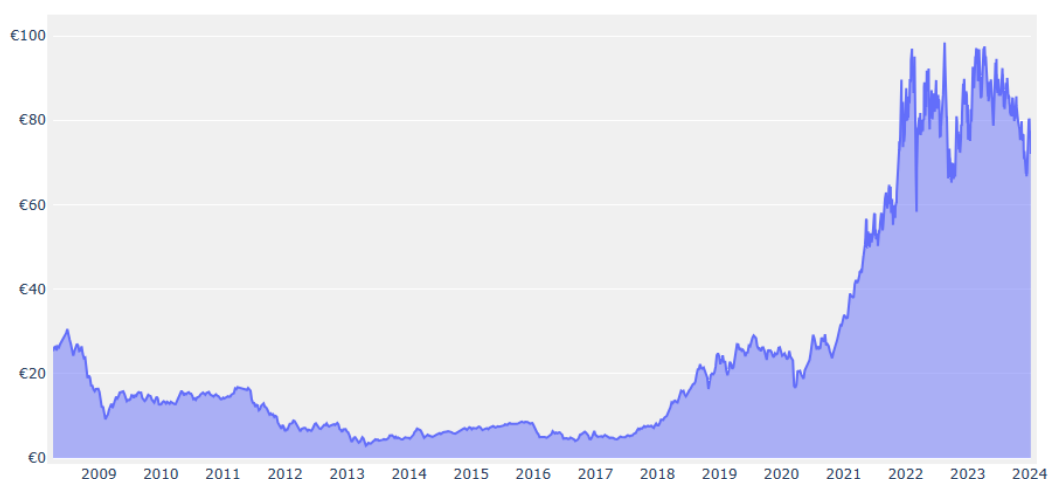
⁵⁶ Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser

⁵⁷ Kommissionens delegerade förordning EU 2019/331 av den 19 december 2018 om fastställande av unionstäckande övergångsbestämmelser för harmoniserad gratis tilldelning av utsläppsrätter enligt artikel 10a i Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG (tilldelningsförordningen)



Figur 24 Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter och utfärdade utsläppsrätter över åren 2013–2022⁵⁸.

Sveriges totala utsläpp av koldioxidekvivalenter, som ingår i EU ETS, har minskat med cirka 12% sedan 2013. Samtidigt har de tilldelade utsläppsrätterna minskat med 42%.



Figur 25 Diagram över kostnadsutvecklingen för utsläppsrätter mellan år 2009–2024.

Resultatet av att minska nivån på utsläppstaket har ökat priserna på utsläppsrätter.

Utsläppsrätter ETS

År 2023 var det första året då priset för en utsläppsrätt översteg 100 EUR per ton⁵⁹. I genomsnitt låg priset mellan 80 och 100 EUR per ton, som illustreras i Figur 25.

⁵⁸ <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/utslappshandel/statistik-och-uppfoljning/>

⁵⁹ <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>

Ändringar infördes i utsläppshandelsdirektivet i samband med skapandet av CCS-direktivet. Det innebär att anläggningar som normalt är skyldiga att överlämna utsläppsrätter inte behöver göra det om koldioxiden avskiljs och lagras permanent⁶⁰.

Det innebär att när en koldioxidavskiljningsanläggning byggs på KVVVT 1 för att hantera den fossila andelen koldioxid kommer det i framtiden inte krävas köp av utsläppsrätter för den fossila andelen koldioxid. Det, tillsammans med ökat pris på utsläppsrätter, skall fungera som en drivkraft för företag att införa koldioxidavskiljning på sina befintliga anläggningar⁶¹.

För handelsperioden 2021–2025 kommer Jönköping Energi tilldelas 137 310 utsläppsrätter enligt Tabell 34⁶². År 2022 köptes 60 625 utsläppsrätter för att ha ett lager motsvarande 1,5 års förbrukning.

Tabell 34 Antal tilldelade utsläppsrätter för fossil koldioxid 2021–2025

	Antal utsläppsrätter som skall tilldelas					Totalt
	2021	2022	2023	2024	2025	
Kraftvärmeverk Torsvik	28 950	28 206	27 462	26 718	25 974	137 310

Tabell 34 visar även att tilldelningen av utsläppsrätter över handelsperioden 2021–2025 minskar för varje år i enlighet med Figur 24.

I maj 2023 godkändes EU:s omställningspaket Fit-for-55, vilket införde strängare regler för EU ETS⁶³. Det nya målet är att minska utsläppen med 62% till 2030 jämfört med 2005. Två engångsminskningar av utsläppstaket planeras för 2024 och 2026, vilket förväntas öka priset på utsläppsrätter. Även den maritima sektorn inkluderas nu i EU ETS, med införandet planerat att ske stegvis från 2024 till full omfattning 2026. Detta förväntas öka efterfrågan på syntetiska bränslen som e-metanol.

Från och med 2024 måste europeiska avfallsförbränningsanläggningar ansluta sig till systemet och rapportera sina utsläpp. Kommissionen skall undersöka huruvida de skall inkluderas fullt ut från och med år 2028 men det kommer fortfarande finnas en möjlighet för andra medlemsstater att utesluta dessa fram till 2030. I

⁶⁰ Ändringen är införd i artikel 12 (3a) i utsläppshandelsdirektivet av Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/29/EG av den 23 april 2009 om ändring av direktiv 2003/87/EG i avsikt att förbättra och utvidga gemenskapssystemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser

⁶¹ Recital 20, Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/29/EG av den 23 april 2009 om ändring av direktiv 2003/87/EG i avsikt att förbättra och utvidga gemenskapssystemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser

⁶² Bilaga I till Kommissionens beslut av den 29 juni 2021 om åläggande för den centrala förvaltaren av Europeiska unionens transaktionsförteckning att föra in de nationella fördelningstabellerna för [...] Sverige i Europeiska unionens transaktionsförteckning, (2021/C 302/01)

⁶³

Se tex Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/959 av den 10 maj 2023 om ändring av direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och beslut (EU) 2015/1814 om upprättande och användning av en reserv för marknadsstabilitet för unionens utsläppshandelssystem, (L 130/134)

Sverige omfattas redan förbränning av avfall i avfallsenergianläggningar fullt ut av EU ETS, med krav på att lämna in utsläppsrätter. Anläggningar där över 95 procent av utsläppen kommer från biomassa kommer inte längre ingå i EU ETS⁶⁴.

Om EU ETS-regelverket följs enligt det nuvarande beslutet kommer utfärdandet av utsläppsrätter att upphöra år 2039. Efter det kommer anläggningar inom systemet, som KVVVT1, inte längre få släppa ut någon koldioxid.⁶⁵

Nationellt stödsystem för Bio-CCS – Omvända auktioner

Statliga stöd och skattelättnader är kraftfulla verktyg för att främja företagens omställning och utsläppsminskningar, särskilt när detta kräver betydande investeringar. Sverige har avsatt 36 miljarder kronor mellan 2026 och 2046 för att stödja företags klimatomställning och reduktion av utsläpp. Med tiden kommer det dock krävas andra finansieringskällor eftersom kostnaderna kan bli en betydande belastning på statens ekonomi.

Incitamenten för att avskilja biogen koldioxid är för närvarande mindre jämfört med anläggningar som omfattas av EU:s utsläppshandelsystem (ETS), som KVVVT 1 där kostnaderna ökar varje år. Därför införs nu ett stödsystem för Bio-CCS kallat "Omvända-auktioner".

Omvända auktioner innebär att den aktör som kan avskilja, transportera och slutlagra koldioxiden till lägst bud vinner auktionsförfarandet och får drift och investeringsstöd i 15 år. För att delta och lägga bud i auktionen så är minsta budstorlek på 50 000 ton.

I juni 2022 meddelade Energimyndigheten att den första auktionen måste skjutas upp till 2023⁶⁶. I oktober 2023 befinner sig ärendet i pre-notifieringsfasen hos EU-kommissionen, men det har ännu inte fattats något beslut om undantag för det svenska stödsystemet enligt vare sig kommissionens eller Energimyndighetens hemsida. Samtidigt arbetar regeringen med att utarbeta en förordning.

Energimyndigheten nämner att de behöver ungefär 6 månader för förberedelser efter beslut innan den första auktionen kan äga rum. Det är därför sannolikt att den första auktionen tidigast kommer att utlysas i mitten av 2024. Därefter

⁶⁴ Naturvårdsverket, Förslag på förordningsändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, Ärendenummer: NV-00646-23, 2023-06-22 och Naturvårdsverket, Förslag på lagändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, NV-00646-23, 2023-03-23

⁶⁵ s. 8, John Hassler, Sveriges klimatstrategi – 46 förslag för klimatomställningen i ljuset av Fit-For-55, Regeringskansliet, Klimat- och näringslivsdepartementet

⁶⁶ Förslag på utformning av ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS) Delredovisning (Delredovisning till Regeringskansliet (Miljödepartementet) den 15 april 2021.)

förväntas ansökningsperioden, auktionsförfarandet och beslutet ta ytterligare 7 månader⁶⁷.

Alla stödsystem är i grunden förbjudna i EU eftersom de kan påverka konkurrensen mellan olika företag och industrier⁶⁸. Undantag kan ges i vissa specifika fall. Energimyndighetens förslag är att stöd ska ges till företag för investerings- och driftkostnader för avskiljning, transport och geologisk lagring av koldioxid med biogent ursprung från verksamheter i Sverige.

Projektgruppen noterar att allt ekonomiskt stöd från svenska staten måste ha så kallad stimulans effekt och underlätta ny näringsverksamhet som inte annars skulle ha inträffat. Enligt kommissionen betraktas stödet inte ha någon stimulans effekt för Jönköping Energi om projektet eller verksamheten påbörjats innan ansökan har lämnats in i auktionsprocessen till Energimyndigheten⁶⁹.

Om stödmottagaren påbörjar ett projekt innan ansökan om stöd lämnas in, kan stödet anses vara oförenligt med den inre marknaden.

I meddelande från kommissionen definieras arbetets början som ”*det första fasta åtagandet (t.ex. att beställa utrustning eller påbörja byggarbetet) som gör en investering oåterkallelig. Markinköp och förberedande arbete såsom erhållande av tillstånd och utförande av genomförbarhetsstudier betraktas inte som arbetets början.* [...]”⁷⁰

Om Jönköping Energi väljer att delta i ett auktionsförfarande är det således viktigt att inte påbörja arbetet med projektet innan ansökan har lämnats in.

Energimyndigheten förespråkar införandet av CCS för *både* fossila och biogena utsläpp. Men det är nödvändigt att förstå att enbart de biogena utsläppen är stödberättigade genom omvända auktioner. Finansiering för eventuell infångad fossil koldioxid (från KVVVT1) måste därför ske separat. Den fossila koldioxiden kan dock kompenseras i EU ETS-systemet.

Bokföring och rapportering av negativa koldioxidutsläpp

Bio-CCS som finansierats med stöd från svenska staten måste bokföras som svenska statens negativa utsläpp för att Sverige skall nå sina mål för koldioxidutsläpp under parisavtalet.

Rapporten ”*Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*”⁷¹ som publicerades av Energimyndigheten i februari 2023

⁶⁷ Se Energimyndighetens hemsida: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/#:~:text=Energimyndigheten%20är%20auktionsförrättare%20i%20ett,de%20kan%20avskilja%20och%20lagra.>

⁶⁸ Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt

⁶⁹ Avsnitt 3.1 ff Meddelande från Kommissionen - Riktlinjer för statligt stöd till klimat, miljöskydd och energi 2022, (2022/C 80/01)

⁷⁰ Definition nummer 82, ibid.

⁷¹ Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783

redovisar EU:s ramverk för reduktion av växthusgaser och argumenterar för att avskild biogen koldioxid med permanent lagring skall bokföras och rapporteras under LULUCF-förordningen⁷².

Utsläpp av biogen koldioxid för biobränslen rapporteras i LULUCF i det land där biomassan produceras. Därmed skall biobränslen som förbränns under EU ETS och Effort Sharing Regulation-sektorn sättas till noll, eftersom de redan räknats in i nettobalansen i LULUCF i det landet där de producerades.

Nuvarande regler för LULUCF har ingen specifik kategori för att bokföra permanent lagrad biogen koldioxid. Rapporten förespråkar att bokföring görs under kategorin "Other" tills en ny kategori införs.

Energimyndigheten förespråkar även att negativa utsläpp av biogen koldioxid skall kunna säljas på en frivillighetsmarknad. Dock tillåts inte dubbel bokföring. Det innebär att Sverige kommer att bokföra minusutsläppen och att ett företag som köper minusutsläppen inte kommer att kunna använda dem för att kompensera för sina egna utsläpp eller för att bli klimatpositiva. Certifikatet kan endast användas till att hävda att företaget bidragit till att Sverige uppnår sina nationella klimatmål och beting avseende EU:s åtaganden enligt Parisavtalet.

Det föreslås vidare att sådan försäljning skulle likställas med en försäljning av så kallade "Mitigation Contribution 6.4 Emission Reductions", en typ av instrument under Artikel 6 i Parisavtalet som förhandlades fram under COP27 i Sharm el-Sheikh⁷³.

Energimyndigheten nämner även i rapporten att en "eventuell intäkt från en försäljning av negativa utsläpp kommer att innebära att statsstödet reduceras i motsvarande omfattning."⁷⁴ Det företag som säljer certifikatet på den frivilliga marknaden erhåller då ingen egentlig intäkt så länge beloppet är lägre än, eller lika stort som uppbyggt statsstöd.

Projektgruppen anser att både statligt stöd och privat finansiering är nödvändigt för att möjliggöra koldioxidavskiljning på kraftvärmeverket Torsvik.

För att attrahera privata investerare är det viktigt att Jönköping Energi har möjlighet att sälja de negativa utsläppen på en frivillighetsmarknad. Många är skeptiska till hur lockande så kallade "mitigation contributions" kommer att vara

⁷² Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013/EU

⁷³ Guidance on the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement, 13 december 2022. Beslutet finns ännu endast tillgängligt i utkastform och har därför inte tilldelats något nummer. -/CMA.4 UNFCCC

⁷⁴ Se fotnot 51, s 18 i rapporten *Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*, Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783

på en frivillighetsmarknad, eftersom företag redan har sina egna miljömål när det gäller koldioxidutsläpp. En möjlig lösning skulle kunna vara att ett ton avskild koldioxid kan redovisas, å ena sidan av en stat på mellanstatlig nivå, och å andra sidan av ett privat företag utan att det betraktas som dubbla anspråk. Detta kallas "nested accounting".⁷⁵

Försäljning av negativa utsläpp

Det finns idag flera marknadsplatser för handel med kolkrediter. Ett intensivt arbete pågår för att ytterligare utveckla och stärka denna marknad genom att införa regelverk och ramar som ökar transparensen och tydligheten.

Nasdaq är ett bolag som vill skala upp den befintliga marknaden globalt. 2021 blev Nasdaq majoritetsägare i det finska bolaget Puro.earth som är en plattform för kolkrediter, CO₂ Removal Certificate (CORCs).

Eftersom marknaden fortfarande utvecklas, skapar det en oklar affärsmodell eftersom regelverket inte är helt fastställt. En frivillighetsmarknad för negativa utsläpp är dock nödvändig för att undvika att verksamheter blir beroende av statligt stöd, vilket kan belasta statsfinanserna. Samtidigt utgör statsfinanserna en möjlighet att tidigt stödja uppbyggnaden av industrin för negativa utsläpp, då beslut om investeringar gynnas av långsiktig tydlighet.

Alla företag måste reducera sina utsläpp för att bli klimatneutrala. Flera sektorer kommer att behöva köpa kolkrediter för att antingen bli klimatneutrala eller kompensera för utsläpp som är svåra att påverka, så kallade "hard-to-abate emissions". För att bli klimatpositivt är det nödvändigt för ett företag att investera i negativa utsläpp. Många företag, till exempel Microsoft, H&M och Klarna, har redan offentliggjort ambitiösa mål för att bli klimatpositiva. Microsoft skall bli klimatpositiva till år 2030 och har dessutom som mål att kompensera för alla utsläpp som de givit upphov fram till år 2030.

För Jönköping Energi innebär upprättandet av en koldioxidavskiljningsanläggning att de blir ett kolsänkeföretag och en möjlighet att sälja negativa utsläpp som kolkrediter, både lokalt och globalt. Köparna av de negativa utsläppen kommer sedan kunna tillgodoräkna sig dessa i sin egen utsläppsrapportering.

CRCF förordningen

Den 22 november 2022 lämnade den Europeiska kommissionen ett förslag på en ny förordning och inrättandet av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag – Union certification framework for carbon removals⁷⁶. Förordningen sätter upp ramar för hur systemet för certifieringen av koldioxidupptag skall fungera.

⁷⁵ En term som används av the Integrity Council for the Voluntary Carbon Market. Se <https://icvcm.org>

⁷⁶ Europeiska Kommissionen, *Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag*, COM (2022) 672 final 2022-11-30 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en

Förslaget skiljer mellan tre olika typer av koldioxidupptag; permanent koldioxidlagring, kolinlagrande jordbruk och koldioxidlagring i produkter.

CRCF förordningen har påbörjat sin resa genom EU:s lagstiftningsprocess och är fortfarande på första steget inom rådet och EU parlamentet. Inom EU parlamentet förväntas förslaget behandlas i slutet på november 2023. Yttranden har redan lämnats av europeiska regionkommittén och europeiska ekonomiska och sociala kommittén⁷⁷.

Ny EU strategi för industriell koldioxidhantering – avskiljning, användning och lagring av koldioxid

Under sommaren 2023 genomförde EU-kommissionen en samrådsperiod där medborgare, företag och organisationer fick ge sina synpunkter på hur EU:s framtida strategi för industriell koldioxidhantering, inklusive avskiljning, användning och lagring av koldioxid, bör utformas.

Kommissionen har meddelat att de överväger: olika styrmedel för att få till ny infrastruktur för transport och lagring av koldioxid; eventuella kvalitetsstandarder för koldioxid; undersöka hur man kan bäst dra nytta av privata investeringar för minskade utsläpp och användning av koldioxid; etc. Kommissionen tog emot 205 inlägg och strategin förväntas publiceras årsskiftet 2023/2024⁷⁸.

Affärsmodell för Bio-CCS

Implementering av en avskiljningsanläggning för koldioxid på ett kraftvärmeverk kommer att påverka den nuvarande affärsmodellen då en ny produkt kommer att produceras tillsammans med nuvarande el- och ångproduktion till fjärrvärmén. För att avskilja koldioxiden från rökgaserna så går det åt energi i form av el och värme (ånga). Oavsett scenario och teknik så kommer alltid den nuvarande elproduktionen att minska. Värmeproduktion kan med vissa avskiljningstekniker öka till en bekostnad av mer elanvändning, men generellt så minskar även värmeproduktionen i form av minskad tillgång på ånga som krävs för vissa teknikens avskiljningsprocess för koldioxid.

I dagsläget så är affärsmodellen för Bio-CCS otydlig då regelverk och ramvillkor håller på att beslutas samtidigt som hela värdekedjan och frivillighetsmarknaden är under uppbyggnad. Bio-CCS som verktyg är en nödvändig kompletterande åtgärd för att snabbt reducera och minska utsläppen för att Sverige ska nå de satta klimatmålen till år 2045. En Bio-CCS-anläggning reducerar inte enbart utsläppen av koldioxid och skapar negativa utsläpp utan det skapar också ett mervärde för

⁷⁷ REK:s 153:e PLENARSESSION, 8.2.2023–9.2.2023, Yttrande från Europeiska regionkommittén – Regionala anpassningsstrategier för att uppnå ett kolinlagrande jordbruk (2023/C 157/09) samt Yttrande från Europeiska ekonomiska och sociala kommittén om Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag (2023/C 184/15)

⁷⁸ Se EU kommissionens hemsida: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid_sv

en energiproducent i form av klimatpositiv el- och fjärrvärme, vilket kan ge konkurrensfördelar mot andra former av energislag och uppvärmningsalternativ.

Investeringskalkyl

I arbetspaketet AP6 Finansiering har en nettonuvärdeskalkyl tagits fram med sammanställd information från arbetspaketen teknik samt logistik och transport för att bedöma lönsamheten och värdet för Bio-CCS på kraftvärmeverket Torsvik.

I kalkylen används den aminbaserade tekniken MEA, baserat på resultaten från teknikstudien AP1. Kemisk absorption med aminbaserad teknik är en av de mest mogna och använda avskiljningsteknikerna på marknaden idag för koldioxidavskiljning.

Värden från Scenario 3 användes i nettonuvärdeskalkylen, som innebär en gemensam avskiljnings och förvätskningsanläggning för både KVVVT1 och KVVVT2. För transport och logistik så valdes logistikkoncept 3 med transport via tåg till permanent lagring i Rødby i Danmark.

Tabell 35 Ingående värden för nuvärdeskalkyl CCS.

Produkt	Värde	enhet
Komplett avskiljningsanläggning med förvätskning	637 000 000	SEK
Volym (år)	340 000	ton
Fossil andel koldioxid (år)	70 000	ton
ETS	800	SEK/ton
Försäljningspris FJV	760	SEK/MWh
Försäljningspris El	700	SEK/MWh
Kalkylränta	10	%
Inflation	2	%
Avskrivningstid	20	år

Den estimerade investeringskostnaden för att etablera en komplett avskiljningsanläggning visade sig från de teknoekonomiska beräkningarna vara runt 637 miljoner SEK för den aminbaserade tekniken MEA. Priset för investeringskostnaden förväntas ha en bred osäkerhetsmarginal i detta tidiga skede ca $\pm 50\%$. Volymen från KVVVT 1 och KVVVT 2 antas vara runt 340 000 ton där den fossila andelen är 70 000 ton från avfallsförbränningen. Då utsläppsrätterna och gratiskvoterna inom EU:s ETS system minskar för varje år så ingick även kostnaden för ETS i kalkylen med ett antaget värde på 800 SEK för en utsläppsrätt.

Försäljningspriset på el har under projektets gång mellan år 2022–2023 varit ovanligt högt historiskt sett. I kalkylen antogs ett försäljningspris på 700 SEK/MWh för el och 760 SEK/MWh för fjärrvärmerna.

Kalkylräntan beräknades på 10 % och inflationen på 2 %. Kostnads-kalkylen utgör en resultatbudget över 20 år. Rörelseintäkterna är uppdelade på intäkt av negativa utsläpp, fjärrvärme, el och övrigt.

Rörelsekostnaderna är uppdelade mellan avskiljning (driftkostnader) och transport. Driftkostnaderna består bland annat av ånga, el, kemikalier, avfall, underhåll och personalkostnader.

Beroende på scenario så ingår olika kostnader i transport delen men omfattas av mellanlagring, lastbil, pipeline, omlastning, tåg, hamnkostnader, fartygskostnader och kostnad för permanent lagring.

Kostnadsestimeringarna i studien baseras på information från logistik- och transportleverantörer samt CCE (Capital Cost Estimator) från Aspen. Osäkerhetsnivån uppgår till $\pm 50\%$ då stora delar av värdekedjan inte existerar idag.

Kostnaden för hela värdekedjan från avskiljning- och förvätskning till slutlagring hamnade mellan 1220–1710 SEK/ ton koldioxid beroende på val av transport efter avskiljning. Det billigaste alternativet på 1220 SEK/ ton koldioxid var rörledning hos Jönköping Energi till planerad kombiterminal i Torsvik och tåg till Danmark-Rødby för slutlagring.

Affärsmodell för Bio-CCU

Permanent lagring (Bio-CCS) jämfört med användning (Bio-CCU) av koldioxiden kan påverka kostnaderna för avskiljning och förvätskningssteg med eventuella extra reningssteg. Vissa aktörer som vill köpa koldioxid medger att de står för transportkostnaden vilket gör att denna kostnad helt kan strykas från investeringskalkylen.

Studien visar att användningen av avskild koldioxid för produktion av e-bränslen innebär striktare renhetskrav jämfört med lagring. Det leder till begränsningar i teknikurvalet och krav på extra reningssteg i koldioxidavskiljningsprocessen, vilket resulterar i ökade OPEX- och CAPEX-kostnader. Från transportperspektivet kan högre renhetskrav också kräva noggrannare rengöring av logistik- och transporttankar.

Det huvudsakliga målet med att använda avskild biogen koldioxid är att ersätta och fasa ut fossila kolråvaror i framställning av vissa produkter. För produktion av gröna e-bränslen krävs förnybar el och biogen koldioxid, och därför kan den fossila koldioxid som kommer från avfallsförbränning inte användas för att producera gröna e-bränslen.

För närvarande accepteras inte koldioxid från avfallsanläggningar för produktion av e-bränslen, eftersom det är svårt att exakt avgöra andelen fossil och biogen koldioxid samt omöjligheten att särskilja dem under avskiljningsprocessen. Diskussioner pågår huruvida den biogena delen från en avfallsförbränning ska accepteras för användning.

Användningsområdena för koldioxid är många. Ett av användningsområdena är inom betongproduktion. Koldioxid kan blandas in i cement och bli en kolsänka. Teknologin omvandlar koldioxid i gasform till solida karbonater (salter).

Carbonaide är ett företag som har denna teknologi och är villiga att köpa koldioxid för 1 500 SEK/ton. De anger även att de själva står för transporten från avskiljningsanläggningen.

Investeringskalkylen för Bio-CCU är ett exempel där den biogena delen koldioxid ingår på 270 000 ton från KVVVT 1 och KVVVT 2 gemensamt.

Avskiljningstekniken är densamma som för Bio-CCS kalkylen, MEA samt de resterande värdena som försäljningspris (FJV + el), kalkylränta, inflation och avskrivningstid. Transportkostnaden ingår ej i kalkylen.

Tabell 36 Ingående värden för nuvärdeskalkyl CCU.

Produkt	Kostnad	Enhet
Komplett avskiljningsanläggning med förvätskning	630 700 000	SEK
Volym biogen koldioxid (år)	270 000	ton
Försäljningspris FJV	760	SEK/MWh
Försäljningspris El	700	SEK/MWh
Kalkylränta	10	%
Inflation	2	%
Avskrivningstid	20	år

Därför blir det enbart en investeringskalkyl där kostnad för avskiljning- och förvätskning ingår. Nödvändigt pris på koldioxiden hamnar då på 730 SEK/ton för att avskiljning och förvätskning.

Jämförelse totalkostnader för CCS

I Tabell 37 ses en sammanställning av olika aktörers utsläpp och beräknade kostnader för teknikerna Aminer och HPC samt för transport och lagring, hämtat från slutrapporter från förstudier redovisade i energimyndighetens projektdatabas. Värdena är avrundade och i vissa fall har ett medelvärde antagits då flera scenarios har ingått. Resultaten ska ses som indikativa då det är många faktorer som påverkar resultaten och i studierna så finns det även många olika alternativ och scenarios på både transportvägar och möjliga integreringar i de olika avskiljningsteknikerna.

Tabell 37 Sammanställning av olika aktörers utsläpp och beräknade kostnader för teknikerna Aminer och HPC samt för transport och lagring.

Aktör	Volym CO ₂ kton	Kostnad avskiljning och förvätskning Amin SEK/ ton CO ₂	Kostnad avskiljning och förvätskning HPC SEK/ ton CO ₂	Totalkostnad avskiljning och transport/lagring SEK/ ton CO ₂ (Amin)	Totalkostnad avskiljning och transport/lagring SEK/ ton CO ₂ (HPC)
Jönköping Energi AB	340	850	800	1 380	1 330
Katrinfors Kraftvärmeverk AB ⁷⁹	90	1 100	900	1 820	1 620
Skövde Energi AB ⁸⁰	150	900	700	1 520	1 320
Boden Energi AB ⁸¹	150	1 550	1 080	2 550	2 080
SYS AV AB ⁸²	750	430	550	1 000	1 100
Mälarenergi AB ⁸³	800	650	500	1 100	850
Medelvärde	380	910	750	1 550	1 400

Kostnadsskillnaden mellan teknikerna MEA och HPC baseras på faktorer som investeringskostnad, effektiv avskiljningsgrad av koldioxid och produktionskostnader för ånga och el. Alla faktorer har en stor avgörande roll på den totala kostnaden. Känslighetsanalysen i Bilaga 2 visar hur totalkostnaden för avskiljning och förvätskning hade förändrats för Jönköping Energi vid en procentuell förändring av investeringskostnader och produktionskostnader.

En stor avgörande faktor för logistik- och transportdelen är bland annat vilka transportalternativ som väljs (lastbil, tåg, fartyg) och hur många omlastningar som behöver göras innan lagring av koldioxiden. Samtliga avskiljningstekniker för

⁷⁹ energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-044881>

⁸⁰ energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-044828>

⁸¹ energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-038016>

⁸² energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-026274>

⁸³ energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2020-016498>

koldioxid har olika egenskaper och passar olika bra i en process. Det är viktigt att hitta den teknik som bäst lämpar sig för en integration i aktörens befintliga anläggning.

Samtliga kostnader från urvalet av ovanvalda studier visar att kostnadsestimeringarna för Jönköping Energi är rimliga och befinner sig runt medelvärdet.

Diskussion

Projektet startade i juni år 2022 under pågående krig i Ukraina och en påverkad energimarknad. Energikrisen resulterade i höga energipriser vilket drabbade både företag och privatpersoner. Även materialpriserna och inflationen ökade kraftigt. Trots världsläget har utvecklingen inom Bio-CCS varit enorm under projekttiden och förutsättningarna vid projektets start har ändrats markant under arbetets gång.

Projektgruppen har under projektet haft återkommande träffar både för hela projektgruppen och delprojektgrupper. Utöver det så har studiebesök genomförts till testanläggningar för koldioxidavskiljning i Norge, föreläsningar har genomförts för att informera om projektet och förstudien har även fått uppmärksamhet i de regionala nyhetssändningarna⁸⁴.

Projektgruppen konstaterar att det finns goda förutsättningar för att etablera en avskiljningsanläggning för koldioxid på kraftvärmeverket Torsvik. Studien har även identifierat betydande potential för nya innovativa tekniker med lägre energiåtgång och smarta lösningar för optimering och integrering av en avskiljningsanläggning i den befintliga anläggningen.

De stora volymerna koldioxid (340 000 ton årligen) som finns tillgängliga på Torsvik ger goda möjligheter för Jönköping att fungera som ett logistikcentrum där även mindre utsläppare av koldioxid kan samla sina volymer tillsammans med Jönköping Energi. Förstudien har påvisat att stora volymer koldioxid är fördelaktigt för transport eftersom de bidrar till en lägre total kostnad. Det är även viktigt att minimera antalet omlastningar då studien påvisat att det är ett dyrt moment i värdekedjan för transport.

Nya anläggningar för att avskilja koldioxiden från rökgaser börjar etableras i form av modulbaserade lösningar som är standardiserade vilket sänker investeringskostnaden (CAPEX) och förkortar leveranstiderna. Att välja en teknisk avskiljningslösning med kemisk absorption borgar även väg för en enkel framtida uppdatering i form av nya innovativa lösningsvätskor som innehar bättre egenskaper än de vätskor som finns på marknaden idag.

Avfallsanläggningen KVV1 belastas av de stigande kostnaderna för utsläppsrätter inom ETS-systemet. Priset har redan passerat 1 000 SEK/ton koldioxid under vissa perioder av 2023. Även om priset fortfarande är lägre än

⁸⁴ Inslag hos SVT Nyheter – Jönköping Så fungerar koldioxidfångning | SVT Nyheter
<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/jonkoping/sa-fungerar-koldioxidfangning>

kostnaden för att avskilja och lagra ett ton koldioxid, har det ökat betydligt de senaste åren. Gratiskvoterna för utsläppsrätter minskar varje år, vilket kräver att fler utsläppsrätter köps in. Genom att etablera en koldioxidavskiljningsanläggning kommer Jönköping Energi att eliminera behovet av att köpa utsläppsrätter för den fossila andelen koldioxid.

Ett statligt stöd som omvända auktioner och en transparent frivillighetsmarknad är nödvändiga verktyg för att framgångsrikt etablera koldioxidavskiljning i Sverige utan att överbelasta statsfinanserna över tid. Tekniken är redo, och det finns möjligheter att ersätta fossila kolråvaror med cirkulärt biogent kol. Omvända auktioner är ett bra sätt att få igenom investeringsbeslut av en avskiljningsanläggning för koldioxid då affärsmodellen är otydlig i väntan på beslut kring regelverk och uppbyggnaden av en frivillighetsmarknad.

Projektgruppen har tillsammans med Jönköping Energi genomfört flera kunddialoger. Projektet har mottagits positivt och flera lokala aktörer vill vara delaktiga och fortsätta dialogen om en framtida satsning på Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme. Projektgruppen har fått en fördjupad kunskap inom ämnet koldioxidavskiljning och har stärkt sin övertygelse att Bio-CCS och Bio-CCU både kan och bör vara en del av lösningen på klimatutmaningen.

Att fånga in och lagra koldioxiden hos Jönköping Energi från KVVVT 1 och KVVVT 2 kommer att kosta mellan 1 220–1 710 SEK / ton CO₂ beroende på transportval och lagringsplats. Fortsatta studier inom optimering och integrering med avancerade avskiljningstekniker ger förutsättningar för en lägre energianvändning vilket minskar den totala kostnaden för att avskilja koldioxiden.

Rekommendation

Denna förstudie ger en indikation på kostnader för Bio-CCS på Torsvik. Projektgruppens bedömning är att kalkylerna och underlaget är bra, och ligger i liknande kostnadsnivå jämfört med tidigare gjorda studier.

Rekommendationen är att fördjupade analyser och kostnadsberäkningar görs i nästa projektfas och att rekommendationer från respektive avsnitt utreds vidare.

Referenser, källor

1. Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO₂ capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review
2. Jochen O., Alfons K., (2010) Minimising the regeneration heat duty of post-combustion CO₂ capture by wet chemical absorption: The misguided focus on low heat of absorption solvents 36-43
3. Jennifer W., Reza H., Erik C. R., Jiajun H., Kyoungjin L., (2014) Advancing Adsorption and Membrane-Separation Processes for the Gigaton Carbon Capture Challenge
4. Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO₂ capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review
5. Terry W., Rohan S., Stanley S., (2011) Demonstrations of coal-fired oxy-fuel technology for carbon capture and storage and issues with commercial deployment
6. Zhiwu H L., Wichitpan R., Helei L., Kaiyun F., Hongxia G., Fan C., Rui Z., Teerawat S., Amr H., Kazi S., Devjyoti N., Don G., Wayuta S., Chintana S., Abdelbaki B., Mohammed Al-M., Huancong S., Teeradet S., Christine C., Qing Z., (2015) Recent progress and new developments in post-combustion carbon-capture technology with reactive solvents
7. A. Schäffer, K. Brechtel, G. Scheffknecht (2012) Comparative study on differently concentrated aqueous solutions of MEA and TETA for CO₂ capture from fluegases.
8. Tharun K., Johanna B., Maximilian B., Simon H., Henrik T (2023) Plant and system-level performance of combined heat and power plants equipped with different carbon capture technologies.
9. Guoping H., Nathan N., Kathryn S., Kathryn A. Mumford., Sandra K., Geoffrey S., (2016) Carbon dioxide absorption into promoted potassium carbonate solutions : A review.
10. Guoping H., Nathan N., Kathryn S., Kathryn A. Mumford., Sandra K., Geoffrey S., (2016) Carbon dioxide absorption into promoted potassium carbonate solutions : A review.
11. J.G Yao, P.S. Fennell and J.P Hallet (2020) Ionic Liquids Chapter 4
12. Mohammad F., Ebrahim S., (2020) CO₂ absorption by ionic liquids and deep eutectic solvents
13. Carolina F. P., David C., Chinonyelum U., (2021) Review of Cryogenic Carbon Capture Innovations and their potential applications
14. Seyed M. S., L. K., Larry L B., John H., (2015) Investigating the Impact of Cryogenic Carbon Capture on Power Plant Performance
15. Larry L. B., Stephanie B., Andrew B., (2009) Cryogenic CO₂ Capture as a Cost-Effective CO₂ Capture
16. Yuexia L., (2011) Experimental Studies on CO₂ Capture using absorbent in a polypropylene hollow fiber membrane contractor
17. Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R.(2014) Membrane-based carbon capture from flue gas: a review
18. C. Nielsen, H Herrman, C Weller, (2012) Atmospheric chemistry and environmental impact of the use of amines in carbon capture and storage CCS.
19. Meddelande 2018-02-13, dnr 555-834-2018.
20. Se detaljerad karta över fastigheten här: <https://karta.jonkoping.se/app/oplan/antagen/#>
21. s. 46 ff, Riksstämman för totalförsvarets militära del i Jönköpings län 2023, <https://www.forsvarsmakten.se/siteassets/2-om-forsvarsmakten/samhallsplanering/riksintressen/bilaga-9-jonkopings-lan.pdf>
22. 47§ väglagen, SFS 1971:948
23. s. 6, Naturvårdsverket, Vägledning om 12 kap. MPF – Kemiska produkter, reviderad 2019-03-29
24. s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning
25. s 144 ff, Emissionsmäthandbok 2015, Förbränningsanläggningar, RAPPORT 2015:142, Energiforsk. Se avsnitt mätpunkter ovan.
26. Se avsnitt 'Omvärldsbevakning: Pågående tillståndsprocesser' nedan.
27. European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006, <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/emissions-storage>
28. 13 § Sevesolagen

29. Se lista över verksamheter här:
<https://www.jonkoping.se/kommunpolitik/sakerhetochkrisberedskap/skyddmotolyckor/farligverksamhetseveso.4.28c2fd04166348199f2c80f.html>
30. Se även avsnitt ”Stockholms Exergi - Värtahamnen” för en jämförelse av mängden processkemikalier som beräknas vara mycket högre där.
31. Räddningstjänsten, Jönköpings Kommun, Dnr 2014-001860, 2014-07-31. Tillståndet är giltigt fram till 2024-08-11.
32. Koldioxid faller inte under LBE, Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om vilka varor som ska anses utgöra brandfarliga eller explosiva varor (MSBFS 2010:4)
33. Notera att Vattenfalls ansökan lämnades in efter att projektet *Bio-CCS i ett växande Jönköping* hade avslutats och slutrapporten redovisats inom projektgruppen. Texten i den här slutrapporten tar därför inte hänsyn till sådan ny information som redovisades i Vattenfalls ansökan av den 9 januari 2024 utan bygger på tidigare tillgänglig information i samrådsunderlaget.
34. s 14, Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06.
35. s. 19, Stockholm Exergis ansökan om miljö tillstånd, aktbilaga 1, M 2479-23
36. Nacka Tingsrätt, MMD, Kungörelse 2023-09-15, aktbilaga 33, M 2479-23
37. Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19
38. s 67-68, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning
39. s. 38, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.
40. s. 7–9, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.
41. s. 9, ibid.
42. s. 18–19, ibid.
43. s. 6 och s. 15, ibid. Den informationen vi har idag om framtida statligt stöd i form av omvända auktioner talar för att endast den biogena koldioxiden kan uppbära stöd. Den fossila delen kommer antagligen kunna avräknas i till exempel i ETS systemet.
44. s. 25–26, ibid.
45. s. 24, ibid. En så kallad computational fluid dynamic simulering.
46. Sydsvenskt projekt för att fånga in koldioxid - <https://www.veab.se/om-oss/satsningar-och-projekt/cnetss/>
47. Unikt samarbete för transport av koldioxid - <https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/cinfracap/>
48. <https://www.stockholmshamnar.se/om-oss/nyheter/2023/stockholm-norvik-hamn-mojligt-ccs-nav-och-viktig-pusselbit-for-att-na-nationella-klimatmal/>
49. <https://gavlehamn.se/mangmiljonstod-beviljat-gavle-energi-och-gavle-hamn-till-projekt-for-koldioxidlagring/>
50. https://www.ostersjon.fi/sv-FI/Naturen_och_dess_forandring/Unika_Ostersjon/Ostersjon_i_siffror
51. Enligt diskussion med Martin Rödén, Captimise
52. 7 § och 8 § ledningsrättslagen.
53. 44 § väglagen (1971:948).
54. Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:
<https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/tillstand/ledningsarenden-inom-mark-och-jarnvag/>
55. Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG
56. Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser
57. Kommissionens delegerade förordning EU 2019/331 av den 19 december 2018 om fastställande av unionstäckande övergångsbestämmelser för harmoniserad gratis tilldelning av

- utsläppsrätter enligt artikel 10a i Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG (tilldelningsförordningen)
58. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/utslappshandel/statistik-och-uppfoljning/>
59. <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>
60. Ändringen är införd i artikel 12 (3a) i utsläppshandelsdirektivet av Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/29/EG av den 23 april 2009 om ändring av direktiv 2003/87/EG i avsikt att förbättra och utvidga gemenskapssystemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser
61. Recital 20, Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/29/EG av den 23 april 2009 om ändring av direktiv 2003/87/EG i avsikt att förbättra och utvidga gemenskapssystemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser
62. Bilaga I till Kommissionens beslut av den 29 juni 2021 om åläggande för den centrala förvaltaren av Europeiska unionens transaktionsförteckning att föra in de nationella fördelningstabellerna för [...] Sverige i Europeiska unionens transaktionsförteckning, (2021/C 302/01)
63. Se tex Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/959 av den 10 maj 2023 om ändring av direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och beslut (EU) 2015/1814 om upprättande och användning av en reserv för marknadsstabilitet för unionens utsläppshandelssystem, (L 130/134)
64. Naturvårdsverket, Förslag på förordningsändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, Ärendenummer: NV-00646-23, 2023-06-22 och Naturvårdsverket, Förslag på lagändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, NV-00646-23, 2023-03-23
65. s. 8, John Hassler, Sveriges klimatstrategi – 46 förslag för klimatomställningen i ljuset av Fit-For-55, Regeringskansliet, Klimat- och näringslivsdepartementet
66. Förslag på utformning av ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS) Delredovisning (Delredovisning till Regeringskansliet (Miljödepartementet) den 15 april 2021.)
67. Se Energimyndighetens hemsida: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/#:~:text=Energimyndigheten%20är%20auktionsförrättare%20i%20ett,de%20kan%20avskilja%20och%20lagra.>
68. Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt
69. Avsnitt 3.1 ff Meddelande från Kommissionen - Riktlinjer för statligt stöd till klimat, miljöskydd och energi 2022, (2022/C 80/01)
70. Definition nummer 82, ibid.
71. Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783
72. Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013/EU
73. Guidance on the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement, 13 december 2022. Beslutet finns ännu endast tillgängligt i utkastform och har därför inte tilldelats något nummer. -/CMA.4 UNFCCC
74. Se fotnot 51, s 18 i rapporten *Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*, Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783
75. En term som används av the Integrity Council for the Voluntary Carbon Market. Se <https://ievcem.org>
76. Europeiska Kommissionen, *Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag*, COM (2022) 672 final 2022-11-30 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en
77. REK:s 153:e PLENARSESSION, 8.2.2023–9.2.2023, Yttrande från Europeiska regionkommittén – Regionala anpassningsstrategier för att uppnå ett kolinlagrande jordbruk (2023/C 157/09) samt Yttrande från Europeiska ekonomiska och sociala kommittén om Förslag till

- Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag (2023/C 184/15)
78. Se EU kommissionens hemsida: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid_sv
79. energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-044881>
80. energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-044828>
81. energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-038016>
82. energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2021-026274>
83. energimyndigheten - <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2020-016498>
84. Inslag hos SVT Nyheter – Jönköping Så fungerar koldioxidfångning | SVT Nyheter <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/jonkoping/sa-fungerar-koldioxidfangning>

Figurförteckning

Figur 1 Schematisk processbild för anläggningen KVVVT 1.....	13
Figur 2 Schematisk processbild för anläggningen KVVVT 2.....	14
Figur 3 Årlig lastprofil för KVVVT1 (Block 1) och KVVVT2 (Block 2) baserat på ångflöde kg/s.....	14
Figur 4 Scenarios för koldioxidavskiljning för Jönköpings Energi två anläggningar.....	15
Figur 5 Generiskt processflöde för MEA-tekniken.	18
Figur 6 Generiskt processflöde för HPC-tekniken.	21
Figur 7 Generiskt processflöde för Joniska vätskor.....	22
Figur 8 visar investeringskostnader för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor för de tre scenarion.	31
Figur 9 visar totalkostnaden för MEA-tekniken för de olika scenarios.....	32
Figur 10 visar totalkostnaden för HPC-tekniken för de olika scenarios.....	33
Figur 11 visar totalkostnaden för Joniska vätskor-tekniken för de olika scenarios.	34
Figur 12 visar totalkostnaden för MEA, HPC och Joniska vätskor för alla scenarios i studien.	35
Figur 13 Visar översiktsskild över Torsvik kraftvärmeverk och estimerad krävd anläggningsyta för avskiljning och förvätskning från både KVVVT1 och KVVVT 2.	36
Figur 14 Visar ett förenklat schema över produktion av olika e-bränslen.....	38
Figur 15 Utskick ”Marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme” till ett urval av Jönköping Energis fjärrvärmekunder. Urvalet bestod av prioriterade företagskunder.	58
Figur 16 Visar logistikkedjan för koldioxidavskiljning.....	65
Figur 17 Översiktsskild av Gävle Hamn med en fiktiv koldioxidhamn i förgrunden. Bildkälla: Gävle Hamn.	67
Figur 18 Preliminär tidslinje för CCS i Gävle Hamn. Källa Gävle Hamn.	68

Figur 19 Till vänster visas vagn av typ Zags och till höger exempel på containervagn för koldioxid.....	70
Figur 20 Karta över aktiva samt planerade lagringsplatser i Europa. Källa: www.iogpeurope.org	72
Figur 21 Översiktsbild för logistikkoncept 1	75
Figur 22 Översiktsbild för logistikkoncept 2	76
Figur 23 Översiktsbild för logistikkoncept 3	77
Figur 24 Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter och utfärdade utsläppsrätter över åren 2013–2022.....	87
Figur 25 Diagram över kostnadsutvecklingen för utsläppsrätter mellan år 2009–2024.	87

Tabellförteckning

Tabell 1 Total el- och fjärrvärmeproduktion för år 2021 och 2022.....	15
Tabell 2 Årliga drifttimmar och koldioxidutsläpp.	16
Tabell 3 Rök-gassammansättning för KVVVT 1 och KVVVT 2 vid full last.	16
Tabell 4 Designparametrar för förvätskning av koldioxid.....	24
Tabell 5 Prestanda från avskiljningsprocessen MEA	25
Tabell 6 Specifika energibehov för koldioxidavskiljning och förvätskning med MEA-tekniken vid fullast.	26
Tabell 7 Värme från avskiljning- och förvätskningsprocessen.	27
Tabell 8 Prestanda från avskiljningsprocessen vid full belastning	27
Tabell 9 Specifikt energibehov för koldioxidavskiljning med förvätskning för HPC-tekniken.....	27
Tabell 10 Restvärme från avskiljnings- och förvätskningsprocessen.....	28
Tabell 11 Specifikt energibehov för koldioxidavskiljning och förvätskning med HPC-tekniken.....	28
Tabell 12 Jämförelse av resultat från processmodellering för MEA, HPC och Joniska vätskor för Scenario 3 – KVVVT 1 och KVVVT 2 tillsammans.....	29
Tabell 13 Ekonomiska faktorer för CAPEX.....	30
Tabell 14 Antagna kostnadsposter för drift	30
Tabell 15 visar kvalitetskrav för Northern lights när koldioxiden skall permanent lagring i en salin akvifär (geologisk formation).	40
Tabell 16 visar kvalitetskrav för European Energy när koldioxiden skall gå till tillverkning av e-metanol.	40
Tabell 17 Bedömning av effektbehovet för MEA, HPC och Joniska vätskor.....	42
Tabell 18 visar andelen biogen och fossil koldioxid från KVVVT1 och KVVVT2...45	45
Tabell 19 Dimensioneringsbehov för Jönköping Energi	65
Tabell 20 Kartläggning över djupgående i olika hamnar	68
Tabell 21 Beskrivning av nödvändiga volymer och areor för mellanlagring lokalt	77
Tabell 22 Tabell över investeringskostnad för rörledning.....	78
Tabell 23 Tabell över investeringskostnad för stickspår	78
Tabell 24 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn	79

Tabell 25 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn	80
Tabell 26 Kostnadssammanställning volymscenario 1 med lagring på land i Danmark.....	80
Tabell 27 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn	80
Tabell 28 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn	80
Tabell 29 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med lagring på land i Danmark.....	81
Tabell 30 Kostnadssammanställning volymscenario 3 med Göteborgs Hamn som utskeppningshamn	81
Tabell 31 Kostnadssammanställning volymscenario 3 med Stockholm Norvik som utskeppningshamn	81
Tabell 32 Kostnadssammanställning volymscenario 2 med lagring på land i Danmark.....	82
Tabell 33 Kostnadsjämförelse OPEX + CAPEX i SEK/ton CO ₂ mellan logistikkoncept 1 och 2 med tågtransport till Rødby i Danmark.....	82
Tabell 34 Antal tilldelade utsläppsrätter för fossil koldioxid 2021–2025	88
Tabell 35 Ingående värden för nuvärdeskalkyl CCS.	94
Tabell 36 Ingående värden för nuvärdeskalkyl CCU.	96
Tabell 37 Sammanställning av olika aktörers utsläpp och beräknade kostnader för teknikerna Aminer och HPC samt för transport och lagring.	97

Bilagor

Bilaga 1. Processmodellering

Bilaga 2. Känslighetsanalys

Bilaga 3. Kryogen teknik

Bilaga 4. Intressentanalys

Bilaga 5. Kommunikationsplan

Bilaga 6. Ordlista

Bilaga 7. Dialograpport

Bilaga 8. Kunddialoger

Bilaga 9. Kompetenskartläggning