

Rapport

Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS

Slutrapport för projektet

2023-05-25

Sammanfattning

Statens energimyndighet har beviljat Skövde Energi AB stöd motsvarande 50 procent av stödgrundande kostnader (2 278 000 SEK) för att under 2021-12-01 – 2023-04-01 genomföra projektet *Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS*. Projektet genomförs inom ramen för uppdraget Industriklivet. Beslutet fattas med stöd av förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning.

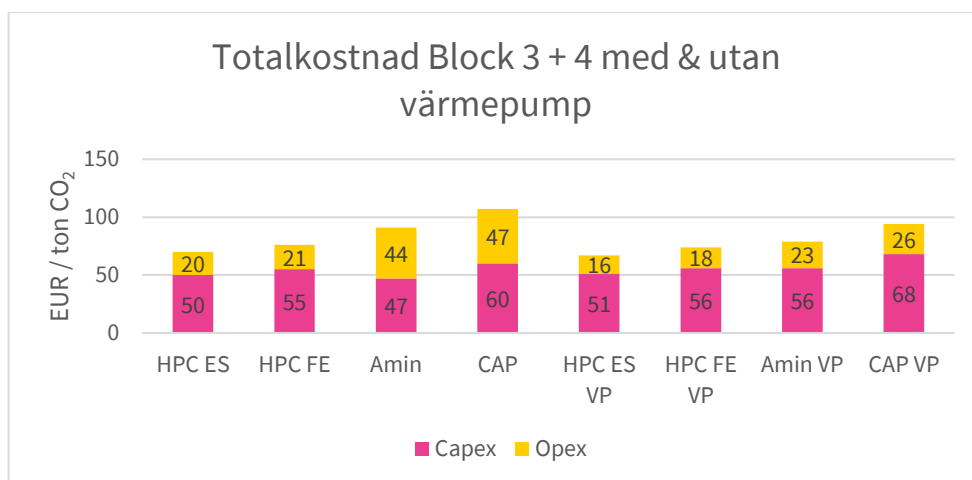
Syftet med projektet är att skapa underlag och affärsmodell för att i kommande projektsteg kunna starta detaljprojektering för att producera klimatpositiv fjärrvärme vid Skövde kraftvärmeverk genom avskiljning av koldioxid i en anläggning, Bio-CCS (Bioenergy Carbon Capture and Storage).

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

- Delmål, AP1: Bestämt vilken teknik och placering som är bäst lämpad för koldioxidavskiljning för Skövde kraftvärmeverks förutsättningar.
- Delmål, AP2: Utvärderat tillstånden som krävs för avskiljningsanläggning samt kringliggande infrastruktur för detta.
- Delmål, AP3: Identifierat och samverkat med möjliga samarbetspartner och aktörer.
- Delmål, AP4: Fått en uppfattning av möjliga logistik- och transportlösningar från avskiljning av koldioxid till och med transport till hamn eller motsvarande.
- Delmål, AP5: Tagit fram scenarier för en hållbar affärsmodell som är i linje med Skövde Energis långsiktiga strategi och mål. Identifierat risker och kostnader längs hela logistikkedjan fram till koldioxidens slutdestination.

Denna studie har påvisat skillnader i de olika teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP. Vid val av koldioxidavskiljningsteknik rekommenderar projektgruppen att flera parametrar tas i beaktande som energianvändning, flexibel lastprofil, hög TRL- och CRI-nivå samt investerings- och driftkostnader.

En sammanställning för maximal koldioxidavskiljning på Block 3 och Block 4 tillsammans utan och med värmepumpsintegrering för totalkostnaden uppdelad i Capex & Opex ses i Figur 1.



Figur 1 visar totalkostnad samt Capex & Opex EUR/ton CO₂ mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP med och utan värmepump.

Utredningen visar på ett kostnadsintervall för hela logistikkedjan, från förvätskad koldioxid till och med permanent lagring exkl. investeringskostnad för tågterminal, på mellan 53 – 72 € per ton avskild koldioxid.

Rekommendationen är att det antingen görs en funktionsupphandling i vilken Skövde Energi specificerar krav på avskiljning och förvätskning av koldioxid eller att en teknik väljs och mer detaljerade kalkyler görs vid olika driftförhållanden för att få en bättre uppskattning på produktionskostnaden. Förhoppningen är att teknikleverantörerna utvecklas och blir fler samt att världsläget blir mer stabilt för att kunna erhålla en mer precis kostnadsuppskattning.

Projektgruppens slutsats är att en tillståndsprocess utgår ifrån lokala förutsättningen, men det återstår flera frågetecken kring teknik- och logistikval som behöver klarnas upp för fortsatt tillståndsarbete. De första Bio-CCS-anläggningarna kommer att bana väg för utformningen av Bio-CCS i Sverige och myndigheternas framtida tillståndsarbete.

Projektgruppen har kommit fram till att det finns lokala förutsättningar för att bygga en Bio-CCS-anläggning. Dels med Skövde Energis förutsättningar och dels med det positiva genomslag bland kunder som projektet fått. Förstudien har kommit fram till att det, med dagens förutsättningar, mest rimliga och kostnadseffektivaste alternativet för Skövde Energi är att gå vidare med en aminprocess där koldioxiden transporteras till slutlagring via rörledning, tåg och fartyg. Prisintervallet för att avskilja och lagra ett ton koldioxid från både Block 3 och Block 4 är mellan 121 – 170 EUR. För att uppnå en positiv ekonomisk kalkyl för en Bio-CCS-anläggning krävs att kostnaden för en kolkredit överstiger avskiljningskostnaden.

Projektgruppen bedömer att Skövde Energis Bio-CCS-projekt stärker varumärket. Att tydligt visa på ett aktivt klimatarbete som utöver klimatneutralitet även tar ännu ett steg genom att rena atmosfären på koldioxid är positivt och viktigt. Genom intressentdialoger har en ökad förståelse också fått för Sverige och EU:s mål om klimatpositivt och Skövde som en aktiv del i klimatarbetet.

Andra företag med pågående Bio-CCS-projekt i Sverige och Norge har visat ett tydligt intresse för Skövde Energis förstudie och kommande planer. Inom regionen genomförs liknande förstudier, vilket öppnat upp för ett gemensamt arbete framåt. Diskussioner har till exempel förts med Vänerenergi och Katrinefors kraftvärme med vilka projektresultaten jämförts. Bland annat gjordes motsvarande marknadsundersökning för Bio-CCS i Mariestad.

Skövde och Skaraborg 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 pedagogiskt och 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 ska nå målet om noll nettoutsläpp av växthusgaser 2045. Detta Bio-CCS-projekt har inspirerat till klimatpositiva initiativ bland exempelvis fastighetsägare och storföretag. Med detta kommunikationsarbete har också projektgruppen en förhoppning att detta arbete leder till en känsla av stolthet och positivitet. Bio-CCS, klimatpositiv fjärrvärme och lokala klimatpositiva initiativ behövs för att nå ett klimatpositivt Sverige 2045.

Summary

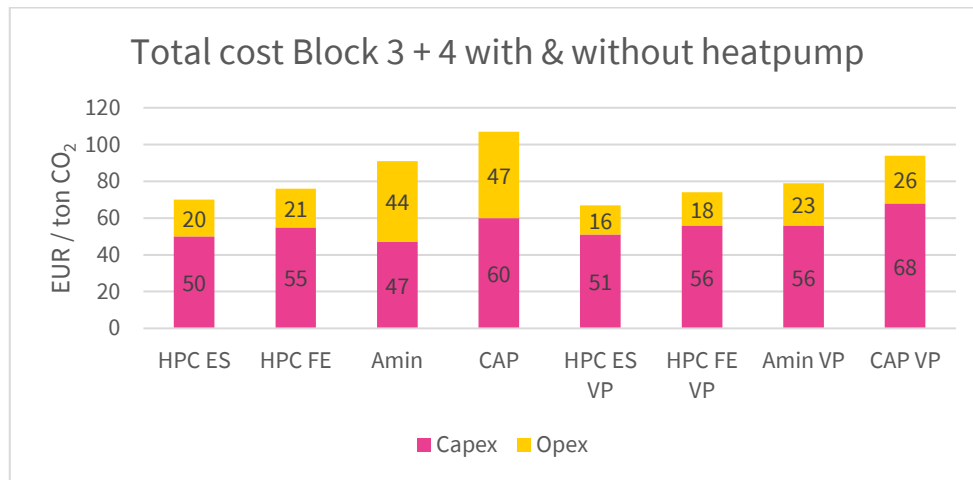
The Swedish Energy Agency has granted Skövde Energi AB support corresponding to 50 percent of eligible costs (SEK 2,278,000) to carry out the project Climate positive district heating with BECCS during the period of 2021-12-01 – 2023-04-01. The project is carried out within the framework of the assignment Industriklivet. The decision is made on the basis of the Ordinance (2017:1319) on state aid for measures that contribute to industry's climate transition.

The purpose of the project is to create a basis and business model for starting detailed planning to produce climate-positive district heating at the Skövde combined heat and power plant through carbon capture in a plant, Bio-CCS (Bioenergy Carbon Capture and Storage). The project goals have been divided into sub-goals linked to five work packages (WP).

- Goal, WP1: Determined which technology and location is best suited for carbon capture for the conditions of the Skövde combined heat and power plant.
- Goal, WP2: Evaluated the permits required for the separation plant and surrounding infrastructure for this.
- Goal, WP3: Identified and collaborated with potential partners and actors.
- Goal, WP4: Got an idea of possible logistics and transport solutions from carbon capture to port or equivalent.
- Goal, WP5: Developed scenarios for a sustainable business model that is in line with Skövde Energi's long-term strategy and goals. Identified risks and costs along the entire logistics chain to the final destination of the carbon dioxide.

This study has shown differences in the different techniques HPC ES, HPC FE, Amines & CAP. When choosing carbon capture technology, the project team recommends that several parameters are taken into account, such as energy use, flexible loading gauge, high TRL and CRI levels, and investment and operating costs.

A summary for maximum carbon capture on Block 3 and Block 4 together without and with heat pump integration for the total cost divided into Capex & Opex is seen in Figur 2.



Figur 2 shows total cost and Capex & Opex EUR/ton CO₂ between the technologies HPC ES, HPC FE, Amin & CAP with and without heat pump.

The study shows a cost range for the entire logistics chain, from liquefied carbon dioxide to permanent storage excluding investment cost for the train terminal, of between 53 – 72 € per tonne of captured carbon dioxide.

The recommendation is that either a functional procurement is made in which Skövde Energi specifies requirements for carbon capture and liquefaction or that a technology is chosen and more detailed calculations are made at different operating conditions to get a better estimate of the production cost. The hope is that the technology suppliers will develop and become more numerous, and that the world situation will become more stable in order to obtain a more accurate cost estimate.

The project group's conclusion is that a permit process is based on local conditions, but there remain several question marks about technology and logistics choices that need to be clarified for continued permit work. The first Bio-CCS plants will pave the way for the design of Bio-CCS in Sweden and the authorities' future permit work.

The project group has concluded that there are local conditions for building a Bio-CCS plant. Partly with Skövde Energi's conditions and partly with the positive impact among customers that the project has had. The feasibility study has concluded that, given today's conditions, the most reasonable and cost-effective alternative for Skövde Energi is to proceed with an amine process where the carbon dioxide is transported to final storage via pipeline, train and ship. The price range for capturing and storing one tonne of carbon dioxide from both Block 3 and Block 4 is between EUR 121 – 170. In order to achieve a positive economic calculation for a Bio-CCS plant, the cost of a carbon credit must exceed the capture cost.

The project group believes that Skövde Energi's Bio-CCS project has strengthened the brand. To clearly demonstrate active climate work that, in addition to climate neutrality, also takes another step by cleaning the atmosphere of carbon dioxide is positive and important. Through stakeholder dialogues, an increased understanding has also been gained of Sweden and the EU's goal of climate positive and Skövde as an active part of climate work.

Other companies with ongoing Bio-CCS projects in Sweden and Norway have shown a clear interest in Skövde Energi's feasibility study and upcoming plans. Similar feasibility studies are being carried out within the region, which has opened up for joint work going forward. For example, discussions have been held with Vänerenergi and Katrinefors kraftvärme, with which the project results have been compared. Among other things, a corresponding market survey was conducted for Bio-CCS in Mariestad.

Skövde and Skaraborg are working to take a real step in the climate issue and the continued communication work can advantageously focus on the local perspective. Continue to communicate in an educational and simple way about the importance of Bio-CCS and about how Bio-CCS cleans the atmosphere off historical emissions. It is crucial to point out that Bio-CCS is an important complementary measure in addition to the substantial emission reductions that need to be made in order for Sweden to achieve the goal of zero net greenhouse gas emissions in 2045. This Bio-CCS project has inspired climate-positive initiatives among property owners and large companies, for example. With this communication work, the project team also hopes that this work will lead to a sense of pride and positivity. Bio-CCS, climate-positive district heating and local climate-positive initiatives are needed to achieve a climate-positive Sweden by 2045.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Summary.....	4
Innehållsförteckning	7
1 Inledning	12
2 Projekt mål	12
3 Genomförande.....	12
3.1 AP1 - Teknik för koldioxidavskiljning.....	12
3.2 AP2 - Erforderliga tillstånd för Bio-CCS-anläggning.....	12
3.3 AP3 - Intressentdialog samt marknadsanalys	13
3.4 AP4 - Logistik- och transportmöjligheter.....	13
3.5 AP5 - Finansiering.....	13
4 Resultat	13
4.1 AP1 Teknik	13
4.1.1 Koldioxid	15
4.1.2 Avskiljningskoncept.....	15
4.1.2.1 Pre Combustion	16
4.1.2.2 Oxy-fuel Combustion	16
4.1.2.3 Industriella processer	16
4.1.2.4 Post Combustion	17
4.1.3 Avskiljningstekniker	17
4.1.3.1 Absorption.....	18
4.1.3.2 Adsorption.....	19
4.1.3.3 Membran	19
4.1.3.4 Kryogen teknik.....	19
4.1.3.5 Aminer	20
4.1.3.6 HPC - Kaliumkarbonat.....	21
4.1.3.7 CAP - Ammoniak	22
4.1.4 Mognadsgrad för olika tekniker	22
4.1.5 Utveckling av aktuella tekniker.....	24
4.1.6 Mass- och Energibalanser.....	24
4.1.7 Energiprofil	25

4.1.8	Energibehov.....	25
4.1.9	Ånganvändning.....	25
4.1.10	Kylning	26
4.1.11	Värmeåtervinning.....	26
4.1.12	Förvätskning och rening.....	26
4.1.13	Resultat energiprofil.....	27
4.1.13.1	Block 3.....	27
4.1.13.2	Block 4.....	29
4.1.13.3	Block 3 + Block 4 tillsammans - full avskiljning.....	30
4.1.14	Ånganvändning.....	31
4.1.15	Totalt specifikt energibehov för Block 3 och Block 4 tillsammans.....	32
4.1.16	Kylbehov	33
4.1.17	Avfallsprodukter	34
4.1.18	Anläggningsyta	35
4.1.19	Resultat kostnader	36
4.1.19.1	Kapitalkostnader	36
4.1.19.2	Driftkostnader.....	39
4.1.19.3	Resultat Totalkostnad (CAPEX + OPEX)	41
4.1.20	Betygsättning av avskiljningstekniker.....	43
4.1.21	Diskussion AP1.....	44
4.1.22	Rekommendation teknik.....	46
4.2	AP2 Tillstånd och omvärldsbevakning	48
4.2.1	Bakgrund och genomförande	48
4.2.2	Mål och avgränsningar	48
4.2.3	Kraftvärmeverken och befintliga miljö tillstånd	48
4.2.3.1	Block 3.....	48
4.2.3.2	Block 4.....	48
4.2.4	Koldioxidutsläpp	49
4.2.5	Tillstånd för koldioxidavskiljningsanläggningen	49
4.2.5.1	Bygglov.....	49
4.2.5.2	Miljö tillstånd	49
4.2.6	Nytt tillstånd eller ett ändringstillstånd	50
4.2.7	En avskiljningsanläggning för båda blocken.....	51

4.2.8	Miljöbedömning.....	51
4.2.9	Villkor	51
4.2.10	Villkor för utsläpp av koldioxid	52
4.2.11	Villkor för lagring av avskild koldioxid på anläggningen	52
4.2.12	Sevesolagstiftning	52
4.2.13	Pågående tillståndsprocesser.....	53
4.2.13.1	Tillståndsprocessen för Vattenfall AB, Jordbro.....	53
4.2.13.2	Stockholm Exergi – Värtahamnen	54
4.2.14	Slutsatser från pågående tillståndsprocesser.....	54
4.3	AP3 - Marknad och Kommunikation	56
4.3.1	Genomförande.....	56
4.3.2	Stöttat och samordnat projektets kommunikationsbehov.....	56
4.3.3	Dialograpport.....	57
4.3.4	Stärkt varumärket Skövde Energi.....	57
4.3.5	Ökad förståelse och kunskap om Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme.....	57
4.3.6	Inspirerat lokala företag till att ta klimatpositiva initiativ	57
4.3.7	Lokal marknadsanalys klimatpositiv fjärrvärme.....	58
4.3.7.1	Tillvägagångssätt och respondenter.....	58
4.3.7.2	Resultat av Marknadsanalysen.....	60
4.3.7.3	Marknadsanalysresultat för företagskunder	62
4.3.8	Diskussion AP3.....	64
4.3.9	Rekommendation för framtida kommunikationsarbete	66
4.4	AP4 Logistik & Transport	66
4.4.1	Logistikkedjan.....	66
4.4.2	Mellanlager	67
4.4.3	Lastbil.....	67
4.4.4	Rörledning.....	68
4.4.5	Tåg.....	69
4.4.6	Hamn.....	69
4.4.7	Fartyg	71
4.4.8	Lagringsplatser	73
4.4.8.1	Lagringsaktörer.....	74
4.4.9	Kostnadsanalys för permanent lagring	76

4.4.10	Säkerhetsaspekter och risker.....	77
4.4.10.1	Exempel spridningsrisk av koldioxid.....	78
4.4.11	Logistik, transport och lagring av CO2 från Skövde Energi.....	78
4.4.11.1	Mellanlager.....	79
4.4.11.2	CO2-transport med lastbil.....	80
4.4.11.3	CO2-transport med rörledning	82
4.4.11.4	CO2-transport med tågterminal	82
4.4.11.5	CO2-transport med tåg	82
4.4.11.6	CO2-lagring i hamn	83
4.4.11.7	CO2-transport med Fartyg	83
4.4.11.8	Lagringsplatser för CO2	84
4.4.12	Kostnadssammanställning	84
4.4.12.1	Volymscenario 1, block 3, 54 000 ton CO2.....	84
4.4.12.2	Volymscenario 2, block 4, 73 000 ton CO2.....	85
4.4.12.3	Volymscenario 3, Block 3+ Block 4, 127 000 ton CO2.....	86
4.4.13	Regler för koldioxidavskiljning, transport och lagring.....	87
4.4.14	Transport av avfall.....	87
4.4.15	Transport med lastbil	87
4.4.16	Tunnelrestriktioner.....	88
4.4.17	Transport på järnväg	88
4.4.18	Omlastningsplats.....	88
4.4.19	Rörledning.....	89
4.4.20	Transport med båt.....	89
4.4.21	CCS Direktivet	89
4.4.22	Export av koldioxid till en lagringsplats utanför Sveriges gränser	90
4.4.23	Diskussion AP4.....	90
4.4.24	Rekommendation för transport och lagring av koldioxid.....	91
4.5	AP 5 Affärsmodell.....	91
4.5.1	Omvärldsbevakning	92
4.5.1.1	ETS – Handel med utsläppsrätter.....	92
4.5.1.2	CRCF förordningen.....	93
4.5.1.3	Nationellt stödsystem för Bio-CCS	94
4.5.2	Försäljning av minusutsläpp.....	97

4.5.3	Affärsmodell för Bio-CCS	98
4.5.4	Affärsmodell för en Bio-CCS-anläggning på Skövde Energi.....	99
5	Diskussion	100
6	Referenslista	101
6.1	Svensk lagstiftning och myndighetsföreskrifter	104
6.2	EU lagstiftning.....	105
6.3	Övrigt.....	106
7	Ordlista.....	108

1 Inledning

Statens energimyndighet har beviljat Skövde Energi AB stöd motsvarande 50 procent av stödgrundande kostnader (2 278 000 kr) för att under 2021-12-01 – 2023-04-01 genomföra projektet *Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS*. Ansökan har inkommit till Industriklivet – negativa utsläpp. Projektet genomförs inom ramen för uppdraget Industriklivet. Beslutet fattas med stöd av förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning.

Syftet med projektet är att skapa underlag och affärsmodell för att i kommande projektsteg kunna starta detaljprojektering för att producera klimatpositiv fjärrvärme vid Skövde kraftvärmeverk genom avskiljning av koldioxid i en anläggning, Bio-CCS (Bioenergy Carbon Capture and Storage).

2 Projekt mål

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

- Delmål, AP1: Bestämt vilken teknik och placering som är bäst lämpad för koldioxidavskiljning för Skövde kraftvärmeverks förutsättningar.
- Delmål, AP2: Utvärderat tillstånden som krävs för avskiljningsanläggning samt kringliggande infrastruktur för detta.
- Delmål, AP3: Identifierat och samverkat med möjliga samarbetspartner och aktörer.
- Delmål, AP4: Fått en uppfattning av möjliga logistik- och transportlösningar från avskiljning av koldioxid till och med transport till hamn eller motsvarande.
- Delmål, AP5: Tagit fram scenarier för en hållbar affärsmodell som är i linje med Skövde Energis långsiktiga strategi och mål. Identifierat risker och kostnader längs hela logistikkedjan fram till koldioxidens slutdestination.

3 Genomförande

Projektet är uppdelat i fem arbetspaket (AP1-AP5).

3.1 AP1 - Teknik för koldioxidavskiljning

Arbetspaketet avgränsas till att omfatta Bio-CCS-kedjans delar från och med rökgasavskiljning till och med förvätskning. Anläggningsspecifika förutsättningar som rökgasanalyser, energibalanser, tillgängliga ytor och driftsförhållanden för Skövde kraftvärmeverks Block 3 och Block 4 ska kartläggas och tre teknikalternativ för koldioxidavskiljning ska väljas ut och jämföras. AP1 ska leverera en delrapport där det mest passande teknikvalet ska motiveras med utgångspunkt i drift- och underhållskostnader, energibehov och påverkan på kraftvärmeverkets energibalans samt eventuella andra nyckelfaktorer som framkommer av utredningen. I beräkningarna ingår även förvätskning av koldioxiden.

3.2 AP2 - Erforderliga tillstånd för Bio-CCS-anläggning

Arbetspaketet ansvarar för att identifiera tillståndsprocesser som är nödvändiga i och kopplade till Bio-CCS-kedjans delar fram till förvätskning. Arbetspaketet ansvarar för att bedriva aktiv omvärldsbevakning och kunskapsinhämtning för de tillstånd och lagstiftning på nationell och internationell nivå.

3.3 AP3 - Intressentdialog samt marknadsanalys

Arbetspaketet ansvarar för en intressentdialog gällande Bio-CCS på Skövde Kraftvärmeverk samt för en marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme bland Skövde Energis kunder. Intressenter ska identifieras och involveras minst en gång under projektets genomförande. Marknadsanalysen ska ge en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme samt öka förståelsen för Bio-CCS och minusutsläpp. Inom arbetspaketet ska också en plan för kompetensutveckling tas fram för anställda hos deltagande organisationer. Arbetspaketet ska producera kommunikationsmaterial, artiklar, seminarium eller annat som bedöms som nödvändigt för att nå de identifierade målgrupperna. Vilken metod som väljs beror på vilken målgrupp som ska nås. Arbetspaketet ansvarar för att säkerställa att intressenterna ges möjlighet till inflytande genom att deras åsikter och synpunkter systematiskt matas tillbaka till projektet.

3.4 AP4 - Logistik- och transportmöjligheter

Detta arbetspaket ansvarar för att utreda vilka möjliga logistik- och transportlösningar som kan antas vara realistiska med hänsyn tagen till kostnader och mellanlagringskapacitet samt potentiell mängd avskild koldioxid. Arbetspaketet utreder möjliga transportsätt från kraftvärmeverket till hamn, exempelvis rörledningar eller tågtransport, samt från hamn till slutlagring.

3.5 AP5 - Finansiering

Inom arbetspaketen tas en affärsmodell fram för en fullskalig Bio-CCS-anläggning. Risker och kostnader identifieras längs hela logistikkedjan fram till koldioxidlagring. Arbetspaketet ansvarar för att den finansiella basen för att fortsätta utvecklingen av Bio-CCS på Skövde Energi läggs fast. Arbetspaketet har också till uppgift att följa utvecklingen av styrmedel och bedöma konsekvenserna för Bio-CCS på Skövde Energi.

4 Resultat

Projektet startade i december år 2021 och har pågått till maj år 2023. En stor projektgrupp på nio personer från både Klimpo och Skövde Energi har drivit projektet framåt. Konsulter och jurister har anlåtats under projektets gång och flertalet företag, både leverantörer och kunder, har involverats. Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS har gått från svåra begrepp till ett viktigt verktyg för att nå klimatmålen. En ny industri växer fram och under denna händelserika projekttid så har det både framkommit positiva delar, men flera hinder har också identifierats. Projektresultatet inom varje arbetspaket redovisas i ordningen AP1 till AP5.

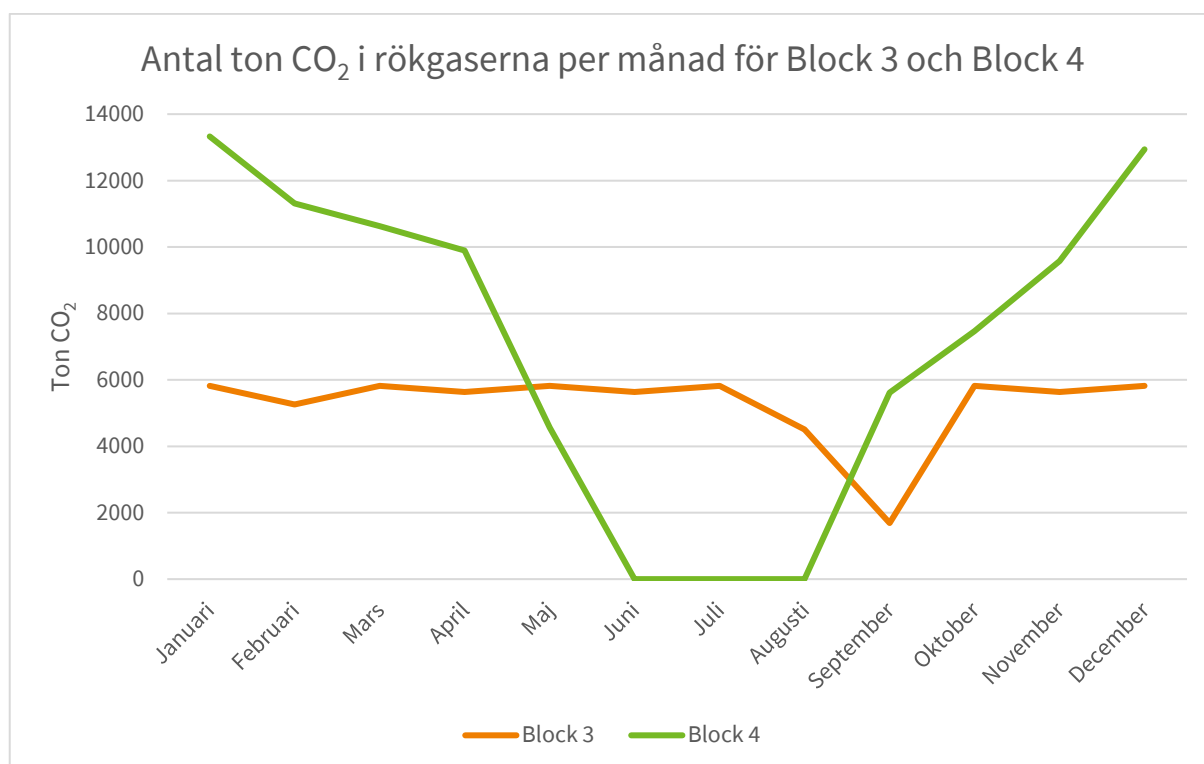
4.1 AP1 Teknik

Skövde Energis kraftvärmeverk utgörs av två förbränningsanläggningar, Block 3 samt Block 4. Block 3:s avfallseldade rosterpanna driftsattes år 2005. Block 3 har en termisk effekt på 20 MW och eleffekt på 1,8 MW. Årligen förbränns runt 60 000 ton avfall från industri samt hushåll. Anläggningen har runt 8000 drifttimmar per år. Potentialen för koldioxidinfångning för Block 3 är ca 54 000 ton CO₂ årligen med en CO₂-halt i rökgasen på 9,8 % (våt gas).

Block 4 driftsattes år 2017 och består av en bubblande fluidiserad bäddpanna. Block 4 har termisk

effekt på 40 MW och eleffekt på 8 MW. Bränslet är restprodukter från skogsindustrin i närliggande område och består till största delen av flis, bark, grenar, kvistar och utsorterat träavfall. Potentialen för infångad koldioxid från Block 4 är ca 73 000 ton CO₂ årligen med en CO₂-halt på 13,6 % (våt gas). CO₂-halt för båda blocken tillsammans är beräknad till 12,1% (våt gas).

Fördelningen över antal ton CO₂ i rökgaserna fördelad över årets månader ses i Figur 2. Tydligt framgår hur Block 3 är en baslastpanna med ett jämt CO₂-flöde över året (förutom revisionen i september) och Block 4 är en spetslastpanna med högt CO₂-flöde under vinterhalvåret.



Figur 3 visar antal ton CO₂ i rökgaserna fördelad per månad för Block 3 och Block 4.

Syftet med delprojektet Teknik i denna studie är att analysera om det är genomförbart att etablera en fullskalig BECCS-anläggning vid Skövdes kraftvärmeverk Block 3 samt Block 4. I denna förstudie så jämförs fyra olika koldioxidavskiljningstekniker för tre olika driftscenarios - endast Block 3, endast Block 4 samt båda blocken. Förvätskningsprocessen är i denna studie antagen att vara densamma för samtliga scenarios. Studien ska visa hur den nuvarande driftprofilen påverkas vid full koldioxidavskiljning, hur energibehovet blir samt hur mycket restvärme som kan nyttjas till fjärrvärme. De teknoekonomiska resultaten sammanställs sedan och en kostnadsuppskattning fås per ton avskild och lagrad koldioxid.

Målet med den tekniska studien är att utreda vilken teknisk process för koldioxidavskiljning som är bäst lämpad under rådande förutsättningar. Denna rapport ska vara ett användbart underlag för framtida studier inom koldioxidavskiljning.

4.1.1 Koldioxid

Koldioxid är en kemisk förening som i sitt normala tillstånd är en färglös samt luktfri gas som förekommer normalt i jordens atmosfär. Koldioxid är en växthusgas som tillsammans med andra gaser (vattenånga, metan samt lustgas¹) bidrar till uppvärmning av jorden². Genom förbränning av fossila bränslen ökar halten av koldioxid i atmosfären. Haven absorberar upp till 25 % av koldioxiden som släpps ut i atmosfären, men genom ökade utsläpp så försuras haven och påverkar andra ekologiska faktorer som till exempel biologisk mångfald.



Figur 4 visar en koldioxidmolekyl

Koldioxidmolekylen består av en kolatom och två syreatomer. Den har en molekylär vikt på 44,01 gram/mol och kokpunkten ligger på -78,5 °C vid atmosfäriskt tryck. Höga nivåer av koldioxid kan vara farligt för människan då gasen tränger undan syre.

Många känner igen koldioxid från fotosyntesen där växter tar in koldioxid, vatten och solenergi som med klorofyll omvandlas till syre och glukos. Det är denna process som möjliggör minusutsläpp. Vid förbränning av biogena bränslen bildas koldioxid och vatten. Genom att avskilja koldioxiden från rökgaserna och sedan lagra koldioxiden permanent fås minusutsläpp – atmosfären har renats på koldioxid.

4.1.2 Avskiljningskoncept

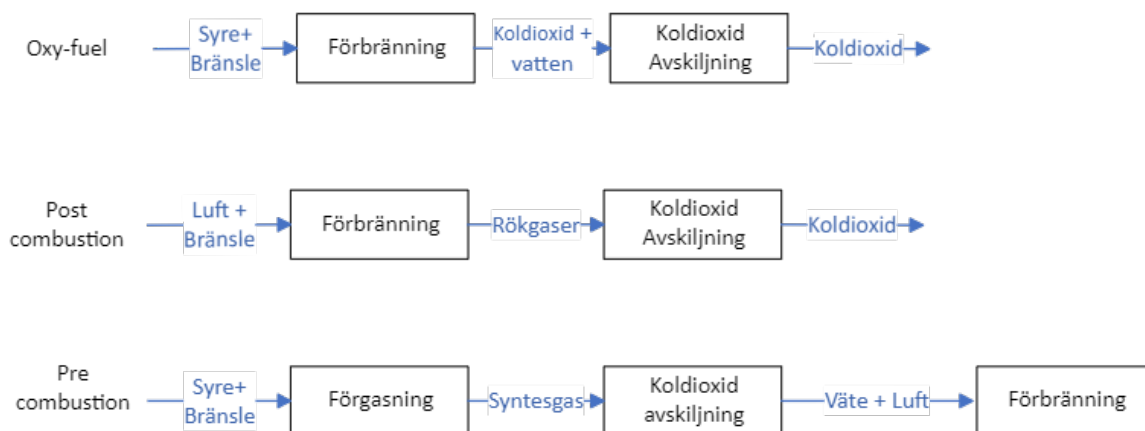
För att avskilja koldioxid från en förbränningsprocess så finns det olika avskiljningskoncept att utgå ifrån³, de mest framstående är Pre Combustion, Oxy-fuel Combustion, Post Combustion och Industriella Processer.

Alla dessa avskiljningskoncept har sina för- och nackdelar. Vilken typ av avskiljning som är bäst lämpad för en anläggning beror på en rad faktorer, vilken typ av rökgassammansättning, hur stora utsläppen är samt möjligheten till lagring eller användning.

¹ [M.R. Bohloul, S.M. Peyghambarzadeh 2014 Experimental and analytical study of solubility of carbon dioxide in aqueous solutions of potassium carbonate 169-175](#)

² [Wenyi Zhong Joanna D. Haigh \(2013\) The greenhouse effect and carbon dioxide 100-105](#)

³ [Edward S R., Hari M., Aaron M., Peter V., John K., The outlook for improved carbon capture technology 4-7](#)



Figur 5 Schematisk bild över tre olika koldioxidavskiljningsmetoder som kan tillämpas på processer med punktutsläpp.

4.1.2.1 Pre Combustion

Pre combustion är en förbränningsprocess där kolinnehållet i bränslet reduceras eller tas bort vilket möjliggör koldioxidavskiljning innan förbränning. Denna process kan användas t ex i en IGCC anläggning (integrated gasification combined cycle) där en förgasning av bränslet sker. Vid förgasning produceras en syntesgas⁴, en kvävefri gas, bestående av främst kolmonoxid och väte. I en del processer så tillförs ånga vilken reagerar med kolmonoxiden och bildar koldioxid. Denna koldioxid avskiljs och kvar till förbränning blir väte som blandas ut med andra gaser.

4.1.2.2 Oxy-fuel Combustion

Vid Oxy-fuel combustion, även kallad syreberikad förbränning, så ersätts normal inmatningsluft (21 % syre, 78 % kväve) med rent (100 %) syre⁵ samt en blandning av recirkulerade rökgasar. Den syreberikade förbränningsprocessen bildar en rökgasström som till största delen består av vatten och koldioxid. Efter att kondenserat vatten avskilts så återstår en hög koncentration av koldioxid i rökgaserna. Beroende på vilket bränsle som används så fås en koldioxidkoncentration på mellan 80 – 98 %⁶⁷. En utmaning med Oxy-fuel processen är koldioxidflödets renhetsgrad om den jämförs med andra mer väletablerade tekniker. Detta medför ett extra steg för destillation så att koldioxiden möter kraven på renhetsgrad.

4.1.2.3 Industriella processer

Avskiljning från industriella processer sker ofta där koldioxiden anses vara en biprodukt som till exempel vid utvinning av naturgas där den naturligt blandade koldioxiden behöver avskiljas för att skapa en användbar produkt. I en del av dessa avskiljningsanläggningar så pumpas koldioxiden ner

⁴ [CO2 Capture Technologies - Section 3 3 \(globalccsinstitute.com\)](https://www.globalccsinstitute.com/resources/technology/capture-by-oxidation-process/)

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](https://www.nature.com/articles/nature04498)

⁶ [Yukun Hu \(2011\) CO2 capture from oxyfuel combustion power plants](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611000000)

⁷ [Anusha K.\(2010\) Carbon dioxide Capture by chemical absorption: A solvent comparison study](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610000000)

tillbaka i den geologiska formationen och i andra industriella processer så ventileras koldioxiden ut till atmosfären.

4.1.2.4 Post Combustion

Post Combustion är det mest beprövade alternativet för att avskilja koldioxiden i rökgaserna⁸. Det beror på att avskiljning sker i rökgaserna efter förbränningen vilket gör att den lämpar sig utmärkt för eftermontering på befintliga anläggningar. Förbränning av bränslen sker vanligen med luft vilket innebär att rökgaserna innehåller en stor andel kväve och en mindre andel koldioxid, ca 10 – 15 %. Detta medför att med denna typ av avskiljningsanläggning behandlas stora volymer rökgaser i processen.

Inom naturgasindustrin har Post Combustion-lösningar använts för koldioxidinfångning i mer än 50 år. Det finns ett antal olika tekniska lösningar att välja på inom Post Combustion då avskiljningskonceptet har använts genom åren i bred utsträckning. Därför är detta koncept valt i denna studie. Den mest etablerade tekniken i dagsläget är kemisk absorption där koldioxiden binds upp genom en kemisk reaktion i en lösningsvätska⁹. De tekniker som finns tillgängliga på marknaden idag inom kemisk absorption är mycket energikrävande. Detta har drivit på forskningsarbete samt utveckling av nya mer innovativa tekniker och lösningsvätskor för att hitta specifika egenskaper som lägre totalt energibehov och mer effektivitet i processen.

4.1.3 Avskiljningstekniker

Det finns idag flera olika typer av tekniker samt processer att tillgå på marknaden inom koldioxidavskiljning. Koldioxidavskiljningen kan ske genom absorption, adsorption, membran eller kryogen teknik. I Tabell 2 ses en sammanställning med fördelar samt nackdelar för respektive avskiljningstekniker för koldioxid.

Tabell 1 Beskrivning av fyra olika avskiljningstekniker för koldioxid.

Metod	Process	Fördelar	Nackdelar
Absorption	CO ₂ avskiljs från rökgaser genom att en lösningsvätska kemiskt absorberar koldioxiden volymmässigt.	Väl beprövad metod som finns kommersiellt tillgänglig.	Hög energiåtgång för att regenerera lösningsvätskan.
		Kompatibel med andra tekniker.	Känslig för degradering över tid.
Adsorption	CO ₂ upptas genom att den fastnar på en yta.	Låg materialåtgång Inga kemikalier	Degradering av material, avfallshantering Låg selektivitet

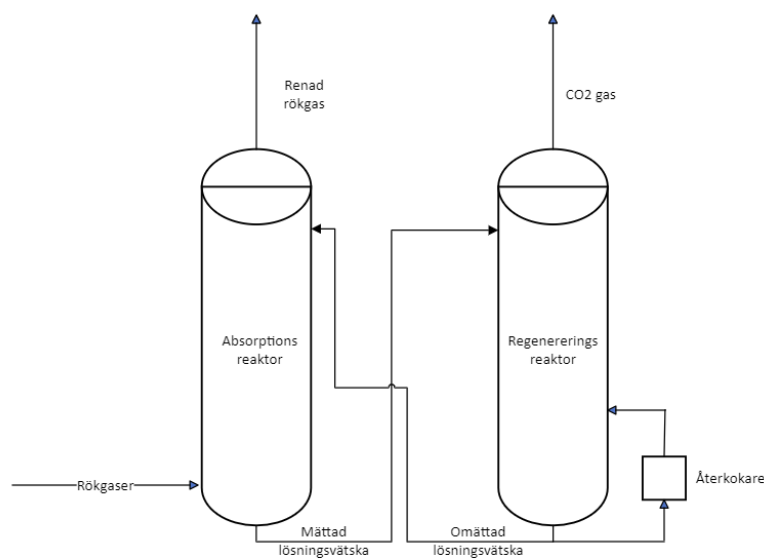
⁸ [Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO2 capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review](#)

⁹ [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](#)

Membran	Rökgaserna går igenom ett membran och CO ₂ filtreras ut.	Låga driftkostnader Mindre underhåll	Stora kapitala kostnader Känslig för orenheter
Kryogen	Rökgaserna kyls till olika temperaturer för att avskilja CO ₂ .	Hög avskiljningsgrad upp till 99 % Hög renhet på koldioxiden	Kräver mycket energi för kylmedia Känslig för vatten i processen

4.1.3.1 Absorption

Absorption av koldioxid är en process där koldioxiden löses upp i en vätska. Det kan vara en fysikalisk process eller en kemisk process där det sker en reaktion mellan ämnet och absorbenten på molekylär nivå. Tekniken utvecklades redan på 1930-talet för att avskilja koldioxid i sura gaser som naturgas, ammoniak samt vid väteproduktion¹⁰. Avskiljningsprocessen med kemisk eller fysisk absorption är oftast en två-steps process. Rökgaserna passerar en kemisk reaktor, även kallad absorber, i vilken en lösningsvätska (solvent) flödar. När dessa två medium möts så sker en kemisk eller en fysisk reaktion där lösningen tar upp koldioxiden från rökgaserna, se Figur 3. Denna process är exoterm vilket innebär att den kemiska reaktion som sker utvecklar värme¹¹.



Figur 6 Övergripande bild på en kemisk absorptionsprocess med post combustion koncept (avskiljningsanläggning efter förbränning).

¹⁰ [Jennifer W., Reza H., Erik C. R., Jiajun H., Kyoungjin L., \(2014\) Advancing Adsorption and Membrane-Separation Processes for the Gigaton Carbon Capture Challenge](#)

¹¹ [Hamida A. AR., A rate-based model for the design and simulation of a carbon dioxide absorber using the hot potassium carbonate process](#)

Den mättade lösningen pumpas vidare till en regenereringsreaktor, även kallad desorber (stripper). Här tillsätts värme för att få den kemiska bindningen att släppa. Detta frigör koldioxiden från lösningsvätskan. Lösningen pumpas tillbaka till absorptionsreaktorn för att påbörja processen på nytt. Det resterande gasflödet från regenereringsreaktorn består av koldioxid och vatten. Gasflödet skickas vidare till en förvätskningsanläggning som komprimerar och kyler gasen så att koldioxiden kondenseras (förvätskas) och kan transporteras vidare till lagring.

4.1.3.2 Adsorption

Adsorption och absorption är två olika processer som involverar interaktionen mellan ämnen och ytor av olika material. Skillnaden mellan processerna är i huvudsak relaterad till hur ämnet binds till ytan och hur det distribueras inom materialet. Adsorption är en process där ett ämne binds till ytan av ett annat material, vanligtvis genom svaga kemiska eller fysikaliska krafter. Materialet består oftast av aktivt kol, silica, zeoliter med flera¹². Adsorption av koldioxid åstadkoms genom att rökgaserna passerar packat adsorptionsmaterial, koldioxiden fastnar på ytan av ett ämne och de andra gaserna passerar igenom och vidare ut till atmosfären. När adsorptionsmaterialet är mättat med CO₂ så skiftas adsorptionstorn och samma process påbörjas i en annan behållare. Avskiljning av koldioxiden från den mättade behållaren sker med en trycksvingsprocess eller en temperatursvingsprocess vilket betyder att trycket eller temperaturen förändras i processen. I vanliga fall så ökas temperaturen med ånga. Detta resulterar i ett flöde av koncentrerad koldioxid som sedan komprimeras, förvätskas och transporteras till slutdestination.

4.1.3.3 Membran

Processen för membran involverar användning av speciella membran som är selektiva och kan separera koldioxid från andra gaser i rökgaserna. Genom membranen kan koldioxidmolekylerna passera medan det hindrar andra gaser som kväve och syre från att passera.

En fördel med membranteknik är dess enkelhet vilket medför lägre kapitalkostnader. De kräver oftast även mindre totalenergi än andra tekniker för koldioxidavskiljning med behov av termisk eller kemisk reaktion vilket gör de mer kostnadseffektiva. Dock finns det några utmaningar med membranteknik. Tekniken har en lägre avskiljningskapacitet jämfört med andra och den kräver högre tryck i processen för att fungera optimalt vilket innebär en kostnad för att komprimera rökgaserna. Föroreningar och fukt i rökgaserna kan skada membranet och påverka dess prestanda¹³ vilket resulterar i stora krav på renheten på rökgasen innan membranprocessen.

4.1.3.4 Kryogen teknik

Kryogen avskiljning av koldioxid innebär en fysisk avskiljningsprocess baserad på skillnader i kokpunkter och depositionsegenskaper hos komponenterna i en gasblandning. Tekniken har funnits länge på marknaden, men har ofta krävt höga koncentrationer av koldioxid i rökgasströmmarna. Nu finns det kryogena tekniker som klarar ner till en koldioxidkoncentration på 5 % i rökgaserna. Dock så

¹² [R. Ben-Mansour, M.A. Habib., O.E. Bamidele, M. Basha, N.A.A. Qasem, A. Peedikakkal, T. Laoui, M. Ali \(2015\) Carbon capture by physical adsorption: Materials, experimental investigations and numerical modeling and simulations – A review](#)

¹³ [Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R.\(2014\)Membrane-based carbon capture from flue gas: a review](#)

blir det mer ekonomiskt fördelaktigt att ha höga koncentrationer av koldioxid i rökgaserna för att minska hanteringen av volymmängder.

Det finns två olika metoder av kryogen avskiljning, gas-flytande och gas-fast form. Den kryogena metoden innebär att rökgaserna kyls ner till mycket låga temperaturer (vanligtvis -60°C till -120°C) vilket gör att koldioxiden fälls ut och separeras från andra gaser. För att uppnå dessa låga temperaturer används ofta kryogena vätskor som flytande naturgas, flytande kväve eller flytande argon¹⁴. Koldioxid kan inte kondensera vid atmosfäriskt tryck utan för att gasen ska kondensera så behöver processen vara trycksatt. Därför beroende på om processen är trycksatt eller ej så kommer koldioxiden antingen kondensera eller fällas ut direkt från gas till fast form.

En fördel med kryogen teknik är att den kan avskilja koldioxid med en hög avskiljningsgrad och en hög renhet. Det är viktigt för flera tillämpningar som lagring i geologiska formationer eller användning i olika industriella processer. Dessutom kan den kryogena tekniken integreras med befintliga processer vilket minskar kapitalinvesteringen och förbättrar driftsäkerheten. Inom processen finns även möjligheten att ackumulera stora mängder kylmedia för att driva avskiljningsanläggningen med minimal energipåverkan från huvudanläggningen när effektbehovet är högt på elnätet.

4.1.3.5 Aminer

MEA (monoetanolamin) är en aminbaserad lösningsvätska. Den är idag den mest tillämpade koldioxidavskiljningsmetoden inom industrin¹⁵¹⁶. Redan på 1930-talet så skickade R. R. Bottoms in en patentansökan på en aminprocess för att avskilja koldioxid¹⁷. Denna teknik används än idag i processer där aminer används för att avskilja koldioxid¹⁸¹⁹. Det finns mycket historik och fakta samlat kring denna process vad gäller teknoekonomiska analyser och det är därför den ofta används som riktmärke (benchmark) i många förstudier inkluderat i denna förstudie. MEA är en process som har fungerat genom åren, men det finns dock skillnader mellan den nya appliceringen idag från den tidigare. Dels är partialtrycken mycket lägre än tidigare processer och rökgaserna har relativt höga temperaturer jämfört med andra processer.

Principen i denna process är att aminen i den vattenhaltiga lösningen skapar en kemisk bindning med koldioxiden och bildar karbamat. Denna bindning kommer sedan att sönderdelas när temperaturen ökar och lösningsvätskan kommer att ge ifrån sig en hög andel koldioxid i gasströmmen.

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

¹⁵ [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](#)

¹⁶ [Tohid N. G. B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Zainuddin A M. \(2015\) CO2 capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review](#)

¹⁷ [Patent US1783901A R. R Bottoms - Process for separating acidic gases](#)

¹⁸ [Degradation of MEA; a theoretical study \(sciencedirectassets.com\)](#)

¹⁹ [Li-Chiang L., Adam H. B., Richard L. M., Jihan K., Joseph A. S., Kuldeep J., Chris H. R., e a \(2012\) In silico screening of carbon-capture materials | Nature Materials 633](#)

Den enskilt största energiåtgången för en Aminprocess är att regenerera lösningsvätskan²⁰, i detta steg så avskiljs den kemiskt bundna koldioxiden från den mättade lösningsvätskan. Detta stora energibehov har resulterat i mycket forskning kring utvecklandet av nya mera effektiva solventer som inte kräver lika hög energiförbrukning för regenereringsdelen. Studier har påvisat att dessa nya aminbaserade lösningsvätskor kan avskilja koldioxid med en avskiljningsgrad på upp till 99% utan större energiåtgång²¹.

Aminer är generellt känsliga för termisk degradation samt oxidering. Reaktion sker med andra sura gaser som SO₂, SO₃, NO₂ samt N₂O₃ när rökgaserna möter lösningsvätskan i absorberna. Dessa reaktioner formar Heat Stable Salts (HSS) som måste tas bort ur processen då de inte upplöses vid värmning. Dessa salter ger upphov till ökad korrosion och erosion i processen samt ökad skumaktivitet. De tidiga Aminer som MEA kom ursprungligen från en annan process och var inte anpassade för denna komposition av rökgassammansättning från förbränning av avfall samt biomassa. Därför sker en ständig utveckling av nya solventer som ska vara tåligare mot denna typ av rökgassammansättning. Därför anses det viktigt att ha en ordentlig rökgasrening innan processen för avskiljning. I och med att aminer degraderas så är det generellt en hög åtgång på solvent. Vilket medför en årlig kostnad för att fylla på detta i systemet. Det är viktigt att ha i åtanke att olika solventer kan reagera mycket olika på olika rökgaser. Därför är en kontinuerlig analys av rökgassammansättning viktig för framtida studier.

4.1.3.6 HPC - Kaliumkarbonat

Hot Potassium Carbonate är också en teknik som finns tillämpad på flertalet anläggningar världen över likt Aminer. Den kemiska processen är lik amin-processen, men absorbenten består av en lösningsvätska kallad kaliumkarbonatlösning. Det finns två stora skillnader i processen om den jämförs med en aminprocess. Den första är att processen för HPC är under högre tryck (6–8 bar) i absorptionsfasen²², jämfört med en aminprocess som sker vid atmosfäriskt tryck. HPC har en trycksatt process för att det gynnar upptaget av koldioxid då den kemiska bindningen mellan koldioxid och lösningsvätskan är relativt svag. HPC-processen är en trycksvingsprocess medan Aminer är en temperatursvingsprocess. Detta medför att rökgaserna som kommer in i processen måste komprimeras av en kompressor. HPC-processen kräver en stabil driftprofil. Den stora rökgaskompressorn erfordrar en stabil drift utan större lastvariationsförändringar för att kunna upprätthålla funktionen. Ner till 70 % last är det genomförbart att bibehålla funktionen, med vid lägre last än 70 % börjar processen att recirkulera rökgaser för att upprätthålla kompressorns drift. När rökgaser börjar att recirkuleras så blir detta en direkt extra driftkostnad då kompressorn kräver samma mängd el för arbetet att komprimera, men med minskade rökgasflöden för koldioxidavskiljning. Därför är HPC-processerna bättre anpassade till en anläggning med stabil drift och lite lastvariationer. Dock så kan detta fenomen eventuellt undvikas med multisteg kompressorer.

²⁰ Yuan W., Li Z., Alexander O., Martin R., Detlef S., (2017) A Review of Post-combustion CO₂ Capture Technologies from Coal-fired Power Plants 653-654 [A Review of Post-combustion CO₂ Capture Technologies from Coal-fired Power Plants \(sciencedirectassets.com\)](#)

²¹ [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](#)

²² [Kåre G., Ramiar S.V., Stefan G., Fabian L., Cecilia S., \(2021\) BECCS with combined heat and power: Assessing the energy penalty](#)

HPC-processen är mer lämpad för en anläggning med stabil året runt drift. En annan skillnad mot de andra teknikerna är att i processen för HPC så finns det högvärdig värme att ta vara på (70–90 °C), vilket kan direkt nyttjas och överförs till ett fjärrvärmenät. Avskiljningsgraden för en HPC-process anses vara runt max 90 %, över detta så stiger driftkostnaderna markant då det operationella trycket i processen behöver ökas vilket genererar ett ökat elbehov.

4.1.3.7 CAP - Ammoniak

CAP, Chilled Ammonia Process har inte lika lång historik som Aminer & HPC och hamnar därför lägre på TRL skalan (7). Sedan år 2006 har tekniken utvecklats då den ansågs ha flera fördelar om den jämförs med den amin-baserade processen. CAP processen består av en ammoniaklösning. Processen anses ha ett antal fördelar om den jämförs med de andra teknikerna. CAP har lägre värme för regenerering, degraderas inte i samma omfattning av SO_x och NO_x samt andra gaser. Dessutom har tekniken ett betydligt högre tryck vid regenereringskolumnen där avskiljning av koldioxiden från lösningsvätskan sker vid 20 bar²³. Detta i sin tur medför att gasströmmen som lämnar regenereringskolumnen inte behöver komprimeras i samma omfattning som med de andra teknikerna. En större nackdel för tekniken är att rökgaserna in till processen från pannan måste hålla en temperatur på under 10 °C²⁴. Finns det inte tillgång till lågt tempererat kylvatten (tex från en sjö eller liknande) så resulterar det i höga driftkostnader för att kyla ner rökgaserna.

Avskiljningsgraden för CAP är enligt studier oftast 75–85 %. En ökad avskiljningsgrad över 90 % genererar en ökad ammoniakslip i rökgaserna och anses generera ökade driftkostnader på grund av den dyra processen för att ta hand om dessa utsläpp.

4.1.4 Mognadsgrad för olika tekniker

Ett mätsystem som bedömer den tekniska mognadsgraden inom respektive process kallas för TRL-skalan (Technology Readiness Level). Detta mätsystem utvecklades av NASA på 1970-talet och baseras på en skala från 1 till 9, där 9 är den mest mogna teknologin²⁵.

Tabell 2 visar en tabell över TRL-skalan som visar en beskrivning över mognadsgradstalet för koldioxidavskiljningstekniker.

Kategori	TRL	Beskrivning
Demonstration	9	Normal kommersiell drift
	8	Kommersiell demonstration, fullskalig implementering
	7	Demonstrering i mindre skala, fullt fungerande
Utveckling	6	Helt integrerad pilot-anläggning i relevant miljö
	5	Validering av delsystem i relevant miljö
	4	Validering av teknik i laboriemiljö
Forskning	3	Konceptbevis på komponent nivå
	2	Formulering av applikationen
	1	Grundläggande principer, observerade, initialt koncept

²³ [Ola A., Barath B., Sanjay D., Steve B., Peter S., Michael B., Olaf S., \(2017\) Chilled Ammonia Process Scale-up and Lessons Learned 5593-5615](#)

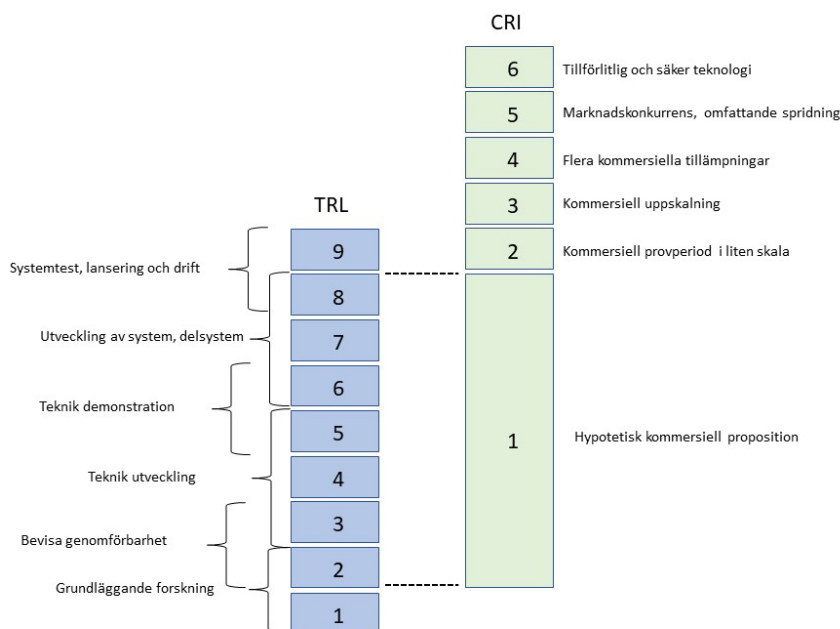
²⁴ Victor D., Kaj T., Willy J M W., Erling H S., (2009) Chilled ammonia process for CO₂ capture (sciencedirectassets.com)

TRL-skalan finns för utveckling av en pålitlig baskostnad, utveckla en långsiktig och tillförlitlig drift av tekniken samt få en ökad funktion och pålitlighet. Mätssystemet gör det enklare att jämföra olika tekniker sinsemellan. I denna studie inkluderas tekniker som har TRL 7 och högre vilket har resulterat i 3 olika absorptionstekniker.

- Aminer
- HPC (Hot Potassium Carbonate)
- CAP (Chilled Ammonia Process)

I projektet tas även hänsyn till en annan skala och det är CRI (Commercial Readiness Index)²⁶. CRI är en term som används för att mäta kommersialisering av en teknik. Det är en metod som används för att bedöma hur redo en innovation är att kommersialiseras och nå marknaden samt vilken potential som finns hos produkten. Ett högt CRI-värde innebär att en teknik bedöms vara mer kommersiellt mogen och redo att implementeras på marknaden. Det indikerar att tekniken har en högre grad av operativ erfarenhet, marknadspotential och ekonomisk lönsamhet.

Idag finns det många nya innovativa tekniker och processer som håller på att utvecklas på marknaden. Många är fortfarande i labbskala och andra tekniker har större demonstrationsanläggningar.



Figur 7 visar förhållande mellan TRL och CRI.

Merparten av teknikerna som idag utvecklas ligger på CRI nivå 1. Den finansieringsnivå som krävs för att helt demonstrera och kommersialisera en ny teknik är betydande och bör inte underskattas. Även

²⁶ [Arena \(2014\) Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors](#)

om en teknik når eller ligger på TRL 9 så behöver det inte betyda att den är lämpad för den kommersiella marknaden. Högre CRI driver också ner kostnaderna för tekniken. Idag ligger Aminer runt 4–5 på CRI skalan och HPC 2–3.

4.1.5 Utveckling av aktuella tekniker

Avskiljning av koldioxid anses vara en nödvändighet för att världen ska kunna reducera sina utsläpp i närtid. Tekniken och möjligheterna finns på plats, det är en fråga om kostnader samt energiförbrukning. Tekniken för att avskilja koldioxid har utvecklats de senaste åren och på marknaden så växer allt fler innovativa tekniker fram.

I dag är det ett fåtal tekniker som ligger högt på TRL-skalan samt CRI-skalan. Många av dagens mer innovativa tekniker förutspås däremot att komma upp i kommersiell skala till 2027. I dagsläget så är det lösningsbaserade vätskor som dominerar den kommersiella marknaden²⁷.

4.1.6 Mass- och Energibalanser

Projektgruppen har utfört mass- och energibalansberäkningar tillsammans med Captimise. Samtliga 24 mass- & energibalanser baseras på maximalt rökgasflöde (designkapacitet) för respektive scenario. Energiprofilerna jämföres med den nuvarande produktionen i Block 3 & Block 4 utan en avskiljningsanläggning. Samtliga indata och ekvationer för mass-och energibalanser ses i Bilaga 1.

Vid samtliga valda tekniker sker koldioxidinfångningen genom kemisk absorption. Koldioxiden reagerar med lösningsvätskan och skapar en bindning som sedan kan reverseras genom tillsättning av värme och ändring av tryckförhållandena. I dessa teknikval så antogs en 90 % avskiljningsgrad av koldioxiden i rökgaserna. Högre avskiljningsgrad än 90 % är genomförbar på en avancerad Aminbaserad lösningsvätska utan större energiåtgång, men för HPC och CAP så är det en teknisk utmaning som hade gett en markant kostnadsökning och anses därför inte vara ekonomiskt försvarbart²⁸. Varje scenario samt teknologi beräknades med och utan värmepump för att kunna utvärdera värmeåtervinning till fjärrvärmenätet. Baserat på mass- & energibalansberäkningarna så beräknades kapitalkostnad, driftkostnad samt totalkostnad för samtliga scenarios och tekniker.

I denna förstudie så jämförs fyra olika koldioxidavskiljningstekniker för tre olika driftscenarios - endast Block 3, endast Block 4 samt båda blocken. Förvätskningsprocessen är i denna studie antagen att vara densamma för samtliga scenarios. Samtliga scenarios ingår i de fyra teknikerna som utvärderades:

- Aminer
- Het Kaliumkarbonat, elektrisk + ånga (HPC ES, Hot Potassium Carbonate)
- Het Kaliumkarbonat, hel elektrisk (HPC FE)
- Kyld Ammoniak (CAP, Chilled Ammonia Process)

²⁷ [Eni O., Meihong W., Atuman S Joel., \(2017\) Current status and future development of solvent-based carbon capture](#)

²⁸ [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](#)

Fortsatt benämning för dessa tekniker i studien är Aminer, HPC ES, HPC FE & CAP.

4.1.7 Energiprofil

Block 3 och Block 4 levererar idag vid maxkapacitet tillsammans runt 10 MW elektricitet och 60 MW fjärrvärme utan en avskiljningsanläggning av koldioxid. Jämförelsen mellan de olika teknikerna kommer att ske mot denna utgångspunkt. I studien finns inget scenario för dellast eller delflöde. Detta för att påvisa maximal påverkan.

I studien utvärderas energiprofilen med data från tre kategorier.

- Elförbrukning
- Värmeåtervinning
- Kylning

4.1.8 Energibehov

Samtliga tekniker i studien konsumerar en stor mängd elektricitet, värme och ånga. HPC är den teknik som i studien använder mest ren elektricitet till följd av komprimeringssteget av rökgaserna från atmosfärstryck till 6–8 bar. I processen för Aminer och CAP så sker absorptionsprocessen vid atmosfäriskt tryck och därav är det inte samma behov för att komprimera rökgaserna. Däremot så kräver Aminer och CAP mer ånga vilket indirekt påverkar kraftvärmeverkets elproduktion genom att inte samma mängd ånga kommer att finnas tillgänglig. Block 3 har en nettoproduktion på 22 MW fjärrvärme och 1,2 MW elektricitet. Block 4 har en nettoproduktion på 38 MW fjärrvärme och 8,4 MW elektricitet.

För förvätskningsanläggningen så är energibehovet lika stort för HPC samt Aminteknikerna. CAP däremot kräver inte lika mycket kompression för att komprimera och förvätska koldioxiden då koldioxidflödet från processen har ett tryck på 20 bar.

4.1.9 Ånganvändning

Samtliga utvärderade tekniker kräver ånga för att regenerera lösningsvätskan förutom HPC FE vars ånga genereras i processen.

- HPC ES 2 bar (a) 120 °C
- Aminer 5 bar (a) 140 °C
- CAP 5 bar (a) 140 °C

För HPC ES så antas det i studien att mottrycket för turbinen kan ökas till 2 bar och att då ånga kan tas nedströms från turbinen. För Aminer och CAP så antas det att mottrycket inte kan ökas till 5 bar och att ånga tas från primärsidan och reduceras ner till 5 bar (a). Detta ånguttag kommer att påverka elproduktionen då inte samma mängd ånga kommer att finnas tillgänglig.

Allt ånguttag beräknas tas från Block 3 för samtliga beräkningar då anläggningen har fler drifttimmar än Block 4.

4.1.10 Kylning

Alla processer kräver kylning både i avskiljningsprocessen och förvätskningsprocessen. En stor del av kylkapaciteten används för att kyla ner inkommande rökgaser. Därför antas det att en avskiljningsanläggning kräver att rökgaskondensorn är i drift för att få ner temperaturen till en acceptabel nivå på normalt 40–60 °C beroende på process. Aminer och CAP har ett högre kylbehov då absorptionsprocessen sker vid en lägre temperatur, mellan 40–50 °C för Aminer och 0–10 °C för CAP. Kylbehoven för Aminer och CAP är främst kopplade till absorptionsprocessen, tvätt av rökgaser innan och efter absorptionskolumn samt kylning av lösningsvätska från regenerering till absorption. För båda HPC så är kylningen huvudsakligen kopplad till tvätt av rökgaser före rökgaskompressorn.

4.1.11 Värmeåtervinning

Termodynamikens första sats lyder, energi varken kan skapas eller förstöras utan endast omvandlas från en form till en annan. I en koldioxidavskiljningsanläggning så är det viktigt att ta vara på och utnyttja den restvärmen i processen. För Aminer och CAP erhålls en större andel lågvärdig värme i processen samt ett stort kylbehov. Teknikerna gynnas av integrering med värmepump genom att den totala verkningsgraden på anläggningen ökar till en bekostnad av elproduktion antaget att den värme som produceras kan nyttjas.

I studien så finns ett antagande att all överskottsvärme i processen kan exporteras och säljas till fjärrvärmesystemet. I praktiken så kan detta komma att bli en utmaning på sommarmånaderna då behovet av fjärrvärme är avsevärt mindre än under vintertid. Samtliga kraftvärmeverk i Sverige har denna ”badkarskurva” till lastprofil över året. Behovet av värme är som högst när det är kallt och minskar när det börjar bli varmare ute. Därför är det mer vanligt att värme under sommarmånaderna behöver kylas bort.

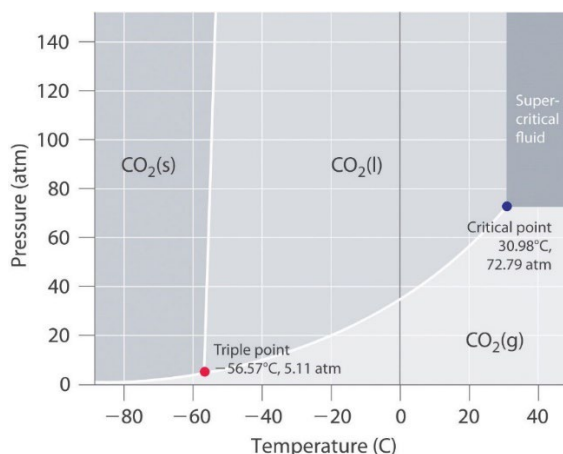
Värmeåtervinningspotentialen skiljer sig mellan de olika tekniska processerna Amin, HPC ES/FE samt CAP. I HPC-processerna så finns en stor del högvärdig restvärme, denna värme kan användas direkt för att värma upp inkommande retur på fjärrvärmenätet. I Amin och CAP-processen finns en liten del högvärdig restvärme och en större lågvärdig del restvärme. Detta resulterar i att större eller fler värmepumpar krävs för att omvandla lågvärdig värme till högvärdig värme samt för att producera kylmedier för att kyla i absorptionsprocessen.

Finns det inget värmebehov så kommer anläggningen att behöva kyla bort överskottsvärme. Då sluttemperaturen är runt 40–50 °C så är luftkylare att rekommendera om en vattenkälla inte är tillgänglig i närområdet.

4.1.12 Förvätskning och rening

Förvätskning och rening av koldioxid är en nödvändighet för att kunna transportera gasen för rimliga kostnader och för att möta kraven på renhet för transport och slutlagring. Processen för att förvätska koldioxid delas normalt in i två huvudkategorier, lågtryck- samt högtryckförvätskning. Processerna fungerar genom att en serie av kompressorer komprimerar koldioxidgasen. Mellan komprimeringsstegen så finns ett kylningssteg samt kondensering av vatten. Den stora skillnaden mellan de två olika teknikerna, förutom trycket, är att lågtrycksförvätskningsprocessen kräver en kylighet för att kyla ner gasen till låga temperaturer så att gasen kan kondensera, se Figur 4. I

förvätskningsprocessen så finns det även olika steg för rening beroende på vilka krav som ställs på slutprodukten.



Figur 8 visar ett fasdiagram av koldioxidens tillstånd vid olika tryck och temperaturer.

Förvätskningsprocessen har i denna studie antagits vara en Joule – Thomson process / Joule – Thomson expansion. Det är en termodynamisk process där koldioxid i gasform genomgår en förändring i tryck och temperatur när den expanderar genom en ventil²⁹. Koldioxiden komprimeras till höga tryck och släpps därefter igenom en ventil vilket expanderar gasen, sänker trycket samt temperaturen. Tryck- och temperaturförhållandena kan variera beroende på sammansättningen, men i studien så är det antagit att den förvätskade slutprodukten av koldioxiden kommer ha ett tryck på 15 bar och en temperatur på -30 °C.

Aminer och båda HPC-processerna har en högre energianvändning i förvätskningsprocessen än vad CAP processen har. Detta beror på att i CAP-processen så levereras koldioxidgasen med ett tryck på 20 bar vilket medför en reduktion i behov av komprimering för förvätskningssteget, vilket i sin tur skapar en energibesparing.

4.1.13 Resultat energiprofil

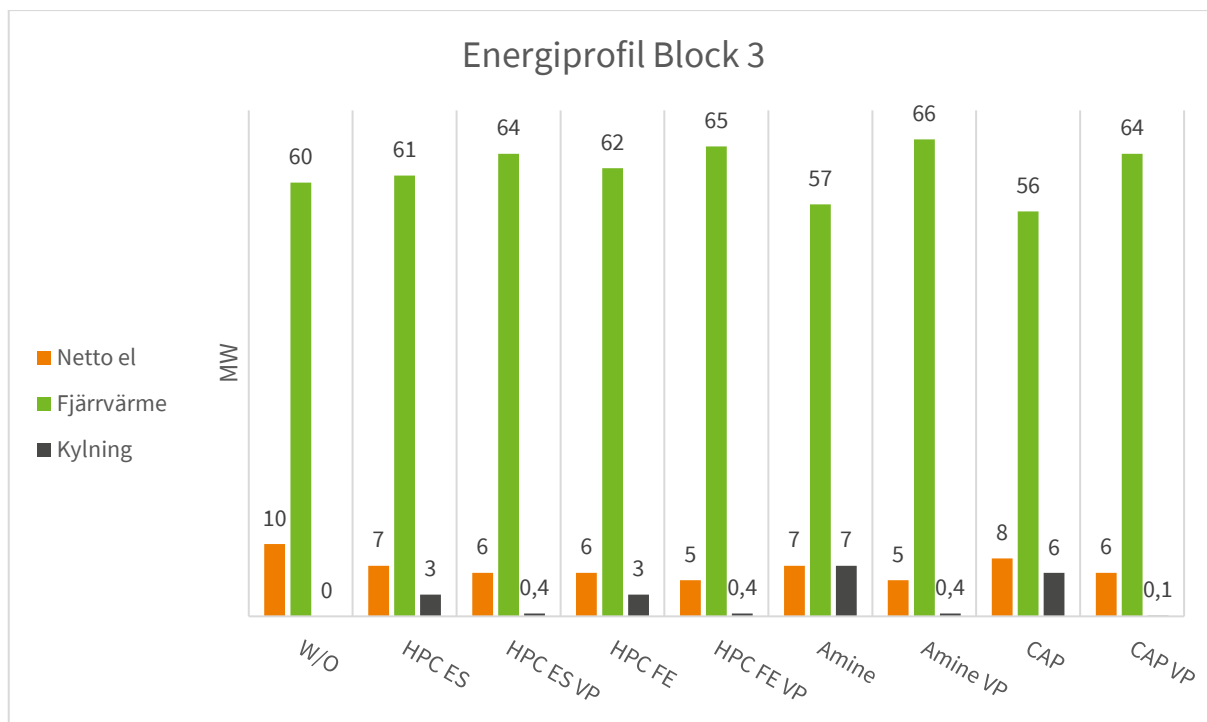
Energiprofilen för alla scenarios är beräknade för 100 % fullast för att se maximal påverkan på huvudprocessen. Både avskiljning samt förvätskning ingår i beräkningarna. Detaljerade processflödesdiagram för samtliga teknologier finns i Bilaga 2 och indata till mass- och energibalanser. Resultatet för energiprofilen visas i ett stapeldiagram där orange stapel visar ”netto el” vilket anger hur mycket MW el som kan exporteras med en koldioxidinfångningsanläggning. Den gröna stapeln ”fjärrvärme” indikerar, precis som för el, fjärrvärmeexportpotentialen i MW. Den mörka stapeln ”kyla” anger kylbehovet för respektive teknik i MW.

4.1.13.1 Block 3

Block 3 är en avfallspanna som står för baslasten och är i drift större delen av året, cirka 8000 timmar med undantag för revisionsstopp. Med en avskiljningskapacitet på 90 % så beräknas infångning av

²⁹ [Ivan Maric \(2005\) The joule-Thomson effect in natural gas flow - rate measurements](#)

54 000 ton koldioxid årligen. Block 3 och Block 4 producerar tillsammans 60 MW fjärrvärme och 10 MW elproduktion utan en avskiljningsanläggning. Det är dessa siffror som jämförs i diagrammet mot implementeringen av en avskiljningsanläggning för Block 3.



Figur 9 visar skillnaden i energiprofil för block 3 mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan samt med integrerad värmepump (VP).

I energiprofilen för Block 3 utan värmepumpsintegrering ses i Figur 12 att effekten till fjärrvärmenätet ökar för båda HPC-teknikerna, men minskar för Amin och CAP. Resultatet minskar för samtliga tekniker utom HPC FE på grund av att HPC ES, Aminer och CAP behöver el och ånga till sina processer vilket skapar en förlust på effekt till fjärrvärmenätet. Dock så har HPC ES har en stor del högvärdig värme i processen som kan nyttjas till fjärrvärmenätet. Nyttjandet av värmen resulterar i att processen genererar mer värme än vad en anläggning utan avskiljning ger och därför visas mer effekt till fjärrvärmesystemet. För Aminer och CAP utan värmepump så ger ångavtappningen en förlust till fjärrvärmenätet då processen för teknikerna har en mycket större del lågvärdig värme som inte går att nyttja till fjärrvärmenätet. Då erfordras en värmepump som omvandlar värmen till högvärdig värme runt 80 °C.

Samtliga tekniker har en påverkan på elproduktionen. För HPC ES/FE så är den största energianvändningen rökgaskompressorn. För Aminer och CAP tekniken så erfordras en större andel ånga som tas ifrån processen vilket resulterar i minskad elproduktion.

Samtliga tekniker med värmepumpsintegrering tillför värme till fjärrvärmenätet. Denna integrering av värmepump är på bekostnad av elproduktionen då den minskar i samtliga fall. Kraven på kylning minskar med integrerad värmepump eftersom denna kan användas som kylning för absorptionsprocessen i stället för kylfläktar eller annan utrustning.

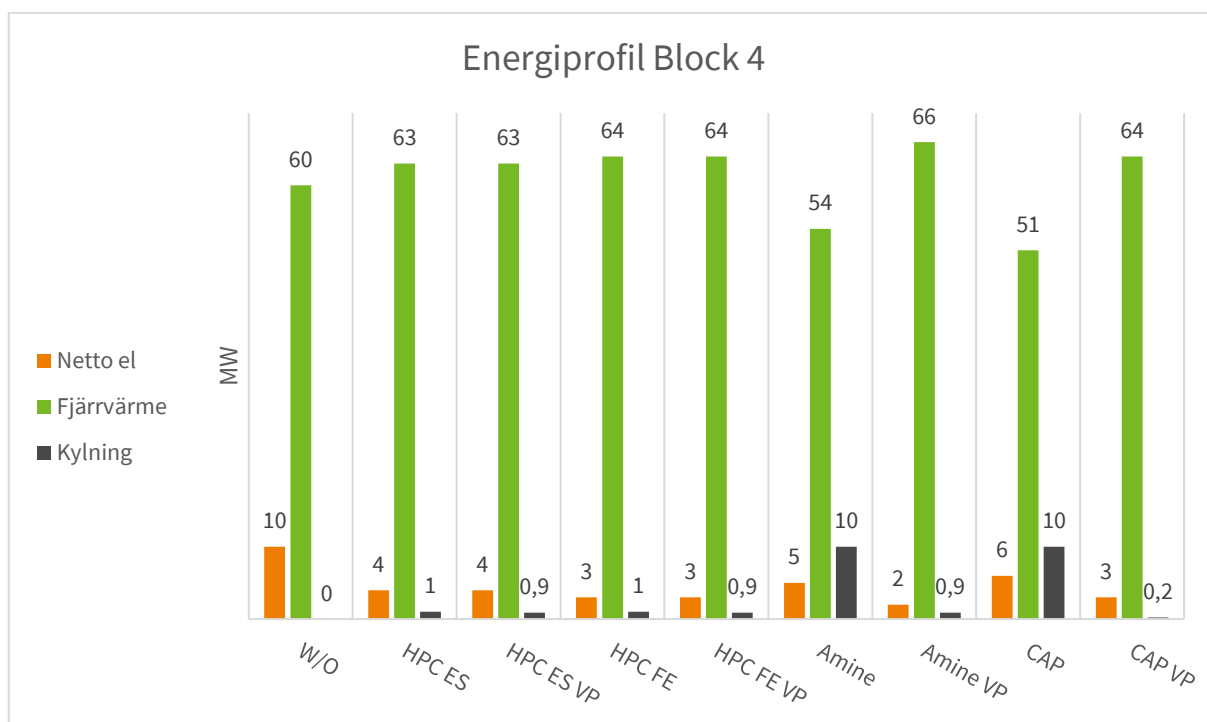
Tabell 3 visar elanvändningen för Block 3 med och utan värmepumpsintegrering för infångning samt förvätskning för HPC ES, HPC FE, Aminer och CAP.

Teknik	Utan värmepumpsintegrering			Med värmepumpintegrering		
	Infångning	Förvätskning	Summa	Infångning	Förvätskning	Summa
HPC ES	1,5	1,3	2,8	2,3	1,3	3,6
HPC FE	2,1	1,3	3,4	2,9	1,3	4,2
Aminer	0,5	1,3	1,8	2,7	1,3	4,0
CAP	1,1	0,3	1,4	3,2	0,3	3,5

Elbehovet utan en integrerad värmepump är som lägst 1,4 MW hos CAP och högst 3,4 MW för HPC FE. Med en värmepumpsintegrering så har fortfarande CAP lägst elanvändning med 3,5 MW och högst har fortfarande HPC FE.

4.1.13.2 Block 4

Block 4 är en spetslastpanna och är i drift cirka 5000 timmar per år. Med en avskiljningskapacitet på 90 % så beräknas infångning till 74 000 ton CO₂/år så är energibehovet för avskiljning samt förvätskning är större.



Figur 10 visar skillnaden i energiprofil för Block 4 mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan samt med integrerad värmepump.

Temperaturerna på rökgaserna efter rökgaskondensatorn skiljer sig i Block 3 och Block 4. Rökgaserna i Block 4 har en temperatur efter rökgaskondensorn på 44 °C vilket är en lägre temperatur än vad Block 3 har som är på ca 55 °C. Därför erfordras det extra kylning för rökgaserna i Block 3 för att

komma ner till en optimal temperatur för processen gentemot Block 4. Eftersom Block 4 har ett större utsläpp så är energibehovet för avskiljning och förvätskning större.

Elanvändningen för Block 4 visar liknande resultat som Block 3 med skillnaden att en högre effekt krävs på grund av den större volymhanteringen både för avskiljningsdelen samt förvätskningsdelen.

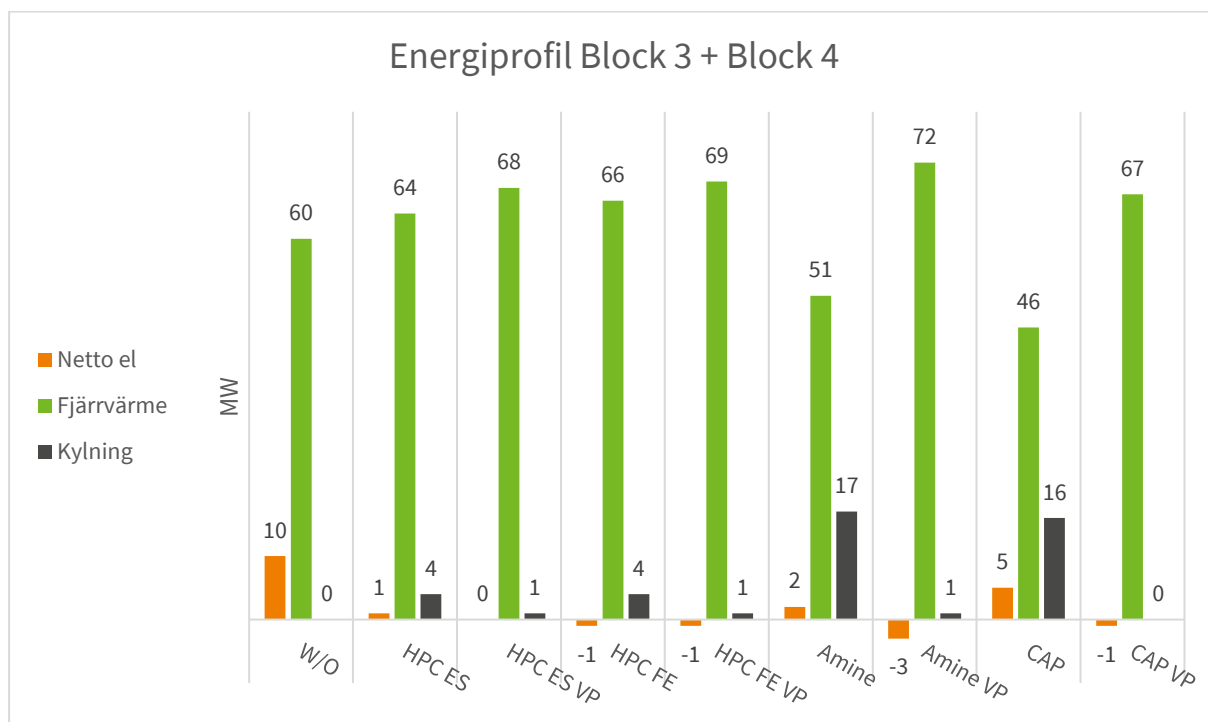
Tabell 4 visar elanvändningen för Block 4 med och utan värmepumpsintegrering för infångning samt förvätskning för HPC ES, HPC FE, Aminer & CAP.

Teknik	Utan värmepumpsintegrering			Med värmepumpsintegrering		
	Infångning	Förvätskning	Summa	Infångning	Förvätskning	Summa
HPC ES	2,7	2,8	5,5	2,9	2,8	5,7
HPC FE	3,8	2,8	6,6	4,0	2,8	6,8
Aminer	0,9	2,8	3,7	3,9	2,8	6,7
CAP	1,7	0,6	2,3	4,9	0,6	5,5

CAP med och utan värmepump har minst elanvändning med 2,3 respektive 5,5 MW. HPC FE har högst elanvändning med och utan värmepump på 6,6 respektive 6,8 MW.

4.1.13.3 Block 3 + Block 4 tillsammans - full avskiljning

Samtliga tekniker leder till en minskad elproduktionsprofil och i flera fall erfordras nettoimport av el då den egna produktionen, enligt beräkningarna, inte räcker till vid full avskiljning och maxlast. I HPC ES/FE- processen är det den stora rökgaskompressionen och den interna ångkomprimeringen som kräver stor effekt. För Aminer och HPC beror effektbehovet främst på att processen nyttjar en stor mängd ånga för att regenerera lösningsvätskan vilket i sin tur påverkar den totala elproduktionen då inte samma mängd ånga finns tillgänglig.



Figur 11 visar skillnaden i energiprofilen för Block 3 och Block 4 tillsammans med teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan samt med integrerad värmepump.

CAP utan värmepump ger minst påverkan på elproduktionen med ca 5 MW netto el. Dock är CAP den teknik som påverkar fjärrvärmeproduktionen mest.

Högst ren elanvändning utan en värmepumpsintegrering har HPC-teknikerna med 8,5 MW samt 10,2 MW jämfört med Aminerna med 5,6 MW och CAP med 3,4 MW. Med en värmepumpsintegrering så blir elanvändningen för CAP 8,7 MW och HPC FE 11,0 MW.

Tabell 5 Visar elanvändningen för block 4 & 4 tillsammans med och utan värmepumpsintegrering för infångning samt förvätskning för HPC ES, HPC FE, Aminerna & CAP.

(MW)	Utan värmepumpsintegrering			Med värmepumpsintegrering		
Teknik	Infångning	Förvätskning	Summa	Infångning	Förvätskning	Summa
HPC ES	4,3	4,2	8,5	5,1	4,2	9,3
HPC FE	6,0	4,2	10,2	6,8	4,2	11,0
Aminerna	1,4	4,2	5,6	6,7	4,2	10,9
CAP	2,6	0,8	3,4	7,9	0,8	8,7

Dessa scenarion är beräknade utifrån fullt rökgasflöde det vill säga 100 % last för att påvisa maximal påverkan vid full avskiljning vid max last.

4.1.14 Ånganvändning

Alla tekniker utom HPC FE i studien kräver ånga till processen för att kunna regenerera lösningsvätskan från koldioxid. Eftersom dessa tekniker kräver höga temperaturer för regenerering så

är ånga det enda alternativet. För HPC ES-tekniken används ånga med ångdata på 2 bar(a) och 120 °C. För Aminer och CAP används ånga med 4–5 bar(a) och 140–150 °C.

I studien antas att för HPC ES-tekniken så tas ånga ut från sekundärsidan på turbin för elproduktion. För Aminer och CAP är detta inte möjligt vilket medför att ånga behöver tas ut från primärsidan för att sedan reduceras ner till 4–5 bar. Detta resulterar i att driftkostnaden ökar på grund av minskad elproduktion då samma mängd ånga ej finns tillgänglig. Det är därav fördelaktigt att kunna ta ut lågtrycksånga efter turbin till processen. Dock så finns det optimeringsmöjligheter genom att en mindre ångturbin installeras som producerar elektricitet och den kvarvarande ångan på sekundärsidan används till processen för avskiljning. Detta koncept resulterar inte i samma förluster som med en reduceringsventil.

Tabell 1.4 Visar ångförbrukningen för samtliga scenarios för högt tryck samt lågt tryck (HT/LT) för HPC ES, HPC FE, Aminer & CAP i enheten MW.

(MW)	Block 3		Block 4		Block 3 & Block 4	
Teknik	HT	LT	HT	LT	HT	LT
HPC ES	-	5,1	-	10,1	-	15,2
HPC FE	-	-	-	-	-	-
Aminer	5,7	-	11,5	-	17,2	-
CAP	5,0	-	10,7	-	15,7	-

HPC FE är som nämnt tidigare en process som är helt elektrisk och har inget behov av extern ånga. Detta beror på att i processen så skapas och återhämtas ånga internt.

Samtliga tekniker har relativt likvärdig ångförbrukning, vid full avskiljning så har HPC ES lägst förbrukning följt av CAP på 15,7 MW och högst förbrukning har Aminer på 17,2 MW.

4.1.15 Totalt specifikt energibehov för Block 3 och Block 4 tillsammans

Det totala specifika energibehovet för Block 3 och Block 4 tillsammans utan värmepump för en kapacitet på 24 ton avskild koldioxid per timme ses i Tabell 6. Elanvändning för förvätskning är antagen vara densamma för HPC ES, HPC FE och Aminer med 175 kWh/ton CO₂ och för CAP 33 kWh/ton CO₂.

Tabell 6 visar specifikt energibehov för full avskiljning för Block 3 och Block 4 tillsammans utan värmepump med ett koldioxidflöde på 24 ton CO₂/h.

Teknologi	Ånga kWh/ton CO ₂	Elektricitet kWh/ton CO ₂	Totalt kWh/ton CO ₂	Total MJ/kg CO ₂
HPC ES	635	179	814	2,9
HPC FE	-	250	250	0,9
Aminer	720	59	779	2,8
CAP	658	110	768	2,7

Det totala specifika energibehovet är högst för HPC ES med 2,9 MJ/kg CO₂, men skiljer inte nämnvärt från Aminer och CAP. Alla tre tekniker har ett stort ångbehov, medan HPC FE producerar ångbehovet

med flashning i processen. Enligt beräkningarna får HPC FE lägst specifikt energibehov med 0,9 MJ/kg CO₂, men elanvändningen är störst för denna teknik.

Tabell 7 visar specifikt energibehov för full avskiljning för Block 3 och Block 4 tillsammans med värmepump med ett koldioxidflöde på 24 ton CO₂/h.

Teknologi	Ånga kWh/t CO ₂	Elektricitet kWh/t CO ₂	Totalt kWh/t CO ₂	Total MJ/kgCO ₂
HPC ES	635	216	851	3,1
HPC FE	-	287	287	1,0
Aminer	720	281	1001	3,6
CAP	658	329	987	3,5

I Tabell 7 ses det totala specifika energibehovet för Block 3 och Block 4 tillsammans med värmepump för en kapacitet på 24 ton avskild koldioxid per timme. Det specifika energibehovet är störst för Aminer med 3,6 MJ/kg CO₂ och näst störst för CAP med 3,5 MJ/kg CO₂ då dessa tekniker har stora kylbehov. Om en jämförelse görs mellan Tabell 6 och Tabell 7 ses att det specifika energibehovet för koldioxidavskiljningsteknikerna med värmepumpar är högre då driften av värmepumpar kräver energi. Dock kan restvärmen vid nyttjande av värmepumpar säljas som fjärrvärme om ökad fjärrvärmeproduktion är önskvärt.

4.1.16 Kylbehov

Alla processer i studien har behov av extern kylning. Den största skillnaden mellan värmepumpsintegrering och ingen värmepumpsintegrering är el- och kylbehovet. Antaget att värmen som värmepumpen levererar kan användas så är det en fördel att värmepump används i processen och omvandlar lågvärdig restvärme till högvärdig fjärrvärme. Värmepumpen kan dessutom nyttjas för kylning till absorptionsprocessen. Detta ger störst effekt på Aminer och CAP då dessa processer har en lägre temperatur i absorptionsreaktorn än vad HPC-teknikerna har. En process utan värmepumpsintegrering kommer att skapa ett behov för extern kylning som luftkylare/kyltorn eller liknande anordning. Det finns flera tillvägagångssätt för att säkerställa tillräcklig kylning för processen. Initialt så kan en värmepumpsintegrering avvaktas och ersättas med ett externt kylsystem alternativt delvis värmepumpsintegrering.

I Tabell 6 ses kylbehovet utan värmepump (MW) för respektive teknik, hur mycket värme som produceras och kan säljas till fjärrvärmenätet samt hur mycket extern kylning avskiljnings- och förvätskningsanläggningen kräver.

Tabell 8 visar kylbehov för samtliga scenarios utan värmepump för HPC ES, HPC FE, Aminer & CAP samt produktion till fjärrvärmenätet i enheten MW.

(MW)	Block 3			Block 4			Block 3 & Block 4		
Teknik	FJV	Avskilj.	Förv.	FJV	Avskilj.	Förv.	FJV	Avskilj.	Förv.
HPC ES	6,4	2,2	0,4	12,8	0,4	0,9	19,2	2,7	1,3
HPC FE	2,0	2,2	0,4	4,0	0,4	0,9	6,0	2,7	1,3
Aminer	2,2	6,7	0,4	4,6	9,2	0,9	6,8	15,9	1,3
CAP	0,2	6,2	0,1	0,4	9,5	0,2	0,6	15,7	0,3

I Tabell 7 ses kylbehovet med värmepump (MW) för respektive teknik, hur mycket värme som produceras och kan säljas till fjärrvärmenätet samt hur mycket extern kylning avskiljnings- och förvätskningsanläggningen kräver.

Tabell 9 visar kylbehov för samtliga scenarios med värmepump för HPC ES, HPC FE, Aminer & CAP samt produktion till fjärrvärmenätet i enheten MW.

(MW)	Block 3			Block 4			Block 3 & Block 4		
Teknik	FJV	Avskilj.	Förv.	FJV	Avskilj.	Förv.	FJV	Avskilj.	Förv.
HPC ES	9,3	0,0	0,4	13,4	0,0	0,9	22,7	0,0	1,3
HPC FE	4,9	0,0	0,4	4,5	0,0	0,9	9,4	0,0	1,3
Aminer	11,0	0,0	0,4	16,9	0,0	0,9	27,9	0,0	1,3
CAP	8,4	0,0	0,1	13,1	0,0	0,2	21,5	0,0	0,3

En tydlig skillnad för kylbehovet mellan alternativen med och utan värmepump är att kylbehovet för avskiljningsanläggningen försvinner med en värmepumpsintegrering. Aminer och CAP har det största kylbehovet generellt utan värmepumpsintegrering med 15,9 MW respektive 15,7 MW för avskiljningsdelen.

4.1.17 Avfallsprodukter

Alla valda avskiljningstekniker i studien genererar en viss typ av avfall eftersom föroreningar och degraderingar fås genom oxidering och termisk sönderdelning. Föroreningar uppkommer oavsett vilken typ av lösningsvätska som väljs. Avfallet uppkommer i alla processer men i olika former och hastigheter.

Aminer som till exempel MEA, MDEA, DIPA, AMP påverkas av föroreningar i rökgaserna. Detta kan vara sot och sulfat som bildas från SO₂ samt nitrat som bildas från NO_x³⁰. Dessa föroreningar klassas som farligt avfall och kommer att behöva deponeras. Det bildas också andra degraderingsprodukter som HSS (Heat stable salts), fasta ämnen (metaller) och andra utfällningar³¹. Rökgaserna som flödar från absorberna kan eventuellt ge utsläpp av nitroaminer vilket i höga koncentrationer kan vara cancerogena. Därför är det viktigt med någon form av utsläppsminskningssystem som till exempel en rökgastvätt. Det är även viktigt att undersöka ekotoxiciteten för en lösningsvätska oavsett teknik. Forskning och utveckling sker inom området för absorbenter för att minska utsläppen.

För att övervinna degradering i lösningsvätskan erfordras en reclaimers eller återvinnare. Denna process renar lösningsvätskan från orenheter och som slutligen blir till avfall för sedan skickas vidare till en avfallsstation. En reclaimers är viktig för hela processen eftersom den reducerar behovet av att köpa in ny lösningsvätska och förbättrar effektiviteten i processen genom att rena vätskan från orenheter vilka försämrar dess prestanda. I denna studie så har det antagits att hanteringskostnaden för avfallet från en aminprocess är 9 EUR/kg avfall.

HPC ger också upphov till avfallsprodukter, primärt Heat Stable Salts (om inga tillsatser har använts i lösningsvätskan), men då i form av kaliumsulfat och kaliumnitrat. Dessa kan även ackumuleras i reclaimern och dra ner dess effektivitet över tid. Restprodukterna kan i praktiken användas för

³⁰ [S. Wang, J. Hovland and R. Bakke \(2013\) Anaerobic degradation of carbon capture reclaimers MEA waste](#)

³¹ [Alireza Bahadori \(2014\) Natural Gas Sweetening](#)

gödning inom jordbruket, men då krävs ytterligare tester på avfallet som genereras då tillsatser som till exempel borsyra och vanadin ingår för korrosionsskydd samt antiskummedel och aktivator används i processen. Kostnaden för att hantera avfallet från HPC-process i denna studie är estimerad till 2 EUR/kg avfall.

CAP-processen utvecklades i syfte att vara tålig mot degradering vid denna typ av rökgassammansättning och reagerar inte med O₂ eller N₂. Dock kan den reagera med SO_x och NO_x vilket genererar avfallsprodukter i form av (HSS), men i mindre omfattning jämfört med HPC. Detta beror till stor del på att i processen så förekommer inga tillsatser som i de två andra processerna. Avfallskostnaden i denna studie är uppskattad till 2 EUR/kg avfall.

4.1.18 Anläggningsyta

Nödvändig anläggningsyta beror på en rad olika faktorer så som utformning av anläggningen, de specifika behoven som olika typer av integreringar och optimeringar kräver. Lagkrav för eventuella nödvändiga processkemikalier och lagring av dessa behöver beaktas vid utformning av anläggningsyta.

Det finns alternativa tekniska processer för koldioxidavskiljning som inte kräver lika stor yta som en platsbyggd anläggning. Ett av dessa alternativ är modullösningar. Det innebär att anläggningen byggs upp av flera mindre standardiserade moduler. Varje modul är utformad för att utföra en specifik uppgift. Det finns flera fördelar med en modullösning som att transporten och byggnationen förenklas, byggtiden är kortare jämfört med en processbyggnation på plats. Leveranstiden kan vara kortare då modulerna är standardiserade. Moduläranläggningar ger en flexibilitet då den kan skalas upp och ner beroende på behov.

I Tabell 8 ses uppskattad anläggningsyta för en avskiljningsanläggning för endast Block 3.

Tabell 10 visar estimerad anläggningsyta i m² för Block 3.

Block 3	HPC ES	HPC FE	Aminer	CAP
Avskiljning	900	1000	1000	1200
CO₂ Komprimering	250	250	250	250
CO₂ Förvätskning	250	250	250	250
Totalt	1400	1500	1500	1700

I Tabell 9 ses uppskattad anläggningsyta för en koldioxidinfångningsanläggning för endast Block 4.

Tabell 11 visar estimerad anläggningsyta i m² för Block 4.

Block 4	HPC ES	HPC FE	Aminer	CAP
Avskiljning	1200	1300	1300	1600
CO₂ Komprimering	250	250	250	250
CO₂ Förvätskning	250	250	250	250
Totalt	1400	1800	1800	2100

I Tabell 10 ses estimerad anläggningsyta för en koldioxidinfångningsanläggning för Block 3 och Block 4 tillsammans.

Tabell 12 visar estimerad anläggningsyta i m² för Block 3 och Block 4 tillsammans.

Block 3 & Block 4	HPC ES	HPC FE	Aminer	CAP
Avskiljning	1400	1600	1600	1900
CO2 Komprimering	500	500	500	500
CO2 Förvätskning	500	500	500	500
Totalt	2400	2600	2600	2900

Skillnaden i ytbehov mellan de olika teknikerna är i denna fas i studien liten. HPC ES kräver den minsta anläggningsytan med ca 2400 m² och CAP den största ytan med 2900 m². Det är många faktorer som är avgörande för ytbehovet vilket normalt specificeras i senare projektfas.

4.1.19 Resultat kostnader

Projektgruppen har utfört kostnadsberäkningar tillsammans med Captimise. Två förenklade anbudsfrågor har gjorts till Leverantör A och Leverantör B. Då sekretessavtal är upprättade med dessa leverantörer kommer endast deras kommentarer att redovisas under rubriker Diskussion.

Kostnaderna för en Bio-CCS-anläggning delas in i Kapitalkostnader (CAPEX) och Driftkostnader (OPEX). I dessa kostnadsuppskattningar antas att all återvunnen värme kan säljas på fjärrvärmenätet och att kostnaden för kylning med kyltorn eller luftkylare ej inkluderas då detta utgör en betydligt mindre del av den totala investeringskostnaden. Dock bör detta utredas vidare senare. Detaljerad information angående kostnader och inmatningsdata återfinnes i Bilaga 3.

4.1.19.1 Kapitalkostnader

Det är viktigt att ta hänsyn till flera faktorer för att säkerställa att projektet är ekonomiskt genomförbart. Dessa viktiga faktorer är utrustning, konstruktion, projektledning, tillstånd samt finansiering.

Kostnaden för inköp och installation av utrustning är en av de största kapitalkostnaderna för en avskiljningsanläggning för koldioxid. Det är viktigt att välja utrustning som är effektiv, tillförlitlig och hållbar på lång sikt. Kostnaderna för konstruktion, inklusive byggmaterial och arbetskraft, är en betydande kapitalkostnad. Det är viktigt att ha en noggrann planering och budgetering av konstruktionskostnaderna för att undvika förseningar och kostnadsöverskridningar.

Kostnaderna för projektledning, inklusive projektplanering och projektstyrning behöver beaktas. Det är viktigt att ha en erfaren projektledare som kan hantera komplexiteten i projektet och se till att det genomförs på tid och inom budget.

Det är viktigt att kostnaderna för att uppfylla lagkrav från myndigheter och krav från andra intressenter inkluderas. Det kan innefatta kostnader för att ansöka om tillstånd, utföra miljöbedömningar och hantera eventuella miljörisiker.

Kostnaderna för att finansiera projektet, inklusive räntekostnader och andra finansiella kostnader, måste också beaktas. Det är viktigt att ha en realistisk och hållbar finansieringsplan för att undvika eventuella finansiella svårigheter i framtiden.

Genom att ta hänsyn till dessa faktorer så är det lättare att uppskatta kapitalkostnaderna för en avskiljnings- samt förvätskningsanläggning för koldioxid och säkerställa att projektet är ekonomiskt genomförbart på lång sikt. Kostnaderna i studien är baserade på villkoren i Tabell 11.

Tabell 13 visar villkor för kostnadskalkyl

Avskrivningstid	20 år
Räntesats	5 %
Amortering	Linjär
Risker	2%
Övriga kostnader	20 %
Osäkerhetskostnader	5%
EPC nyckelfärdigt tillägg	20%

Kostnaden för Aminer & CAP avser nyckelfärdiga kontrakt, EPC, medan HPC förtillfället erbjuds med EPCM-kontrakt. Därför har ett påslag på 20% för HPC-teknikerna gjorts för att kunna kostnadsuppskatta ett EPC-kontrakt.

Kostnaderna i studien baseras på maxkapacitet med ett maximalt rökgasflöde för de olika scenarion. Maxkapaciteten ton/h kan ses Tabell 12.

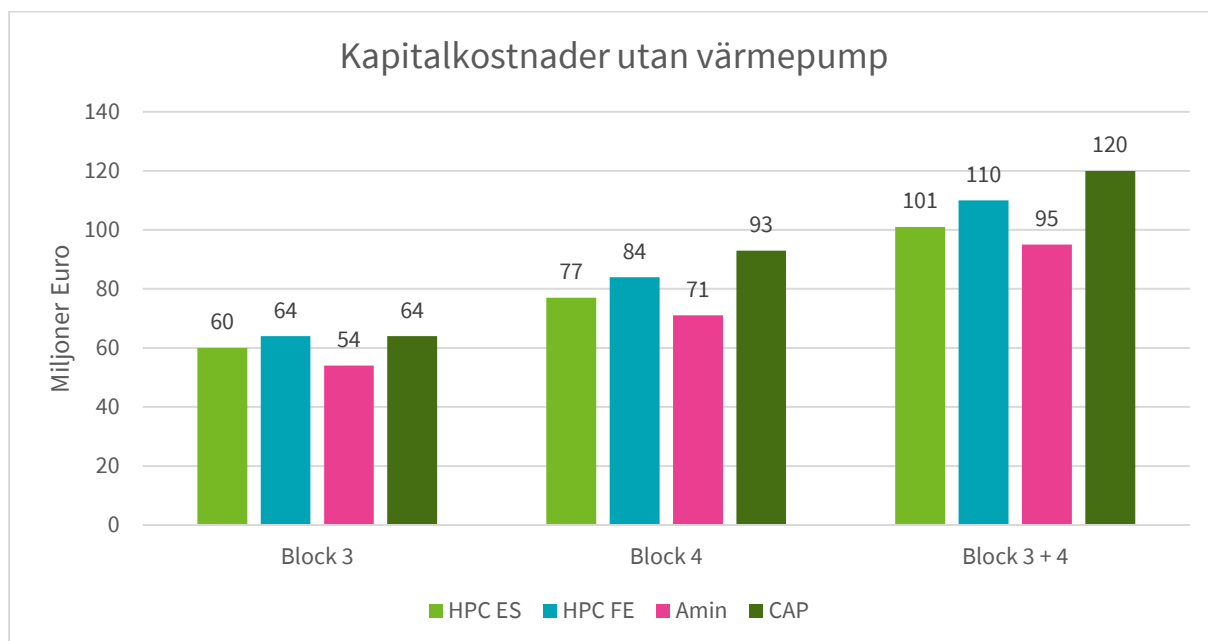
Tabell 14 visar kapaciteten för koldioxidflödet ton/h för de tre olika scenarion.

Scenario	Block 3	Block 4	Block 3 & Block 4
Kapacitet ton/h	8	16	24

4.1.19.1.1 Resultat Kapitalkostnader (CAPEX)

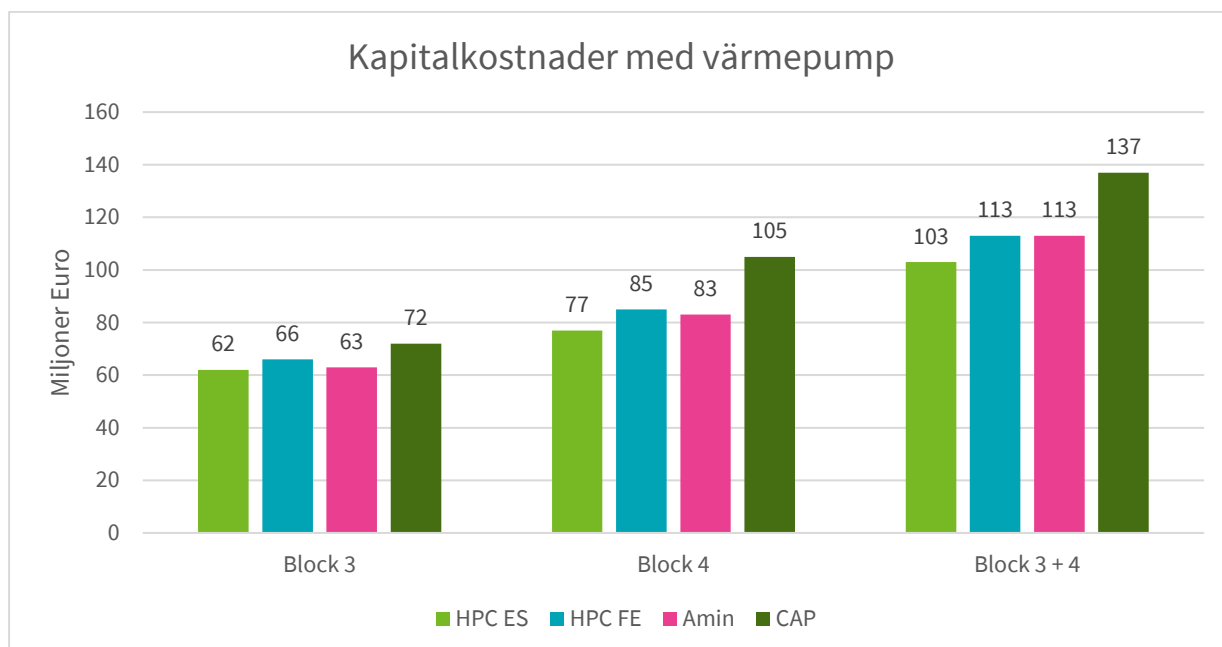
Resultatet från kapitalkostnadsberäkningarna har en osäkerhetsnivå på $\pm 30\%$ på grund av att det är en ny industri som växer fram och att det är ett tidigt skede i studien med flera antaganden som maxlast, ytbehov etc.

I Figur 9 ses kapitalkostnader för respektive scenario och teknik utan värmepump. Resultatet visar att investeringskostnaden för Aminer är 95 miljoner EUR för en koldioxidinfångningsanläggning utan värmepump vid scenario med Block 3 och block 4 tillsammans. Anledningen till att kapitalkostnaden är lägre för Amin-tekniken är att den är mer kommersiellt tillgänglig än de övriga.



Figur 12 visar skillnaden för kapitalkostnader mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan värmepump.

I Figur 15 ses kapitalkostnader för respektive scenario och teknik utan värmepump. Resultatet visar att HPC ES har den lägsta kapitalkostnaden på 103 miljoner EUR för scenariot med Block 3 och Block 4 tillsammans.



Figur 13 visar skillnaden för kapitalkostnader mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP med värmepump.

CAP-tekniken som ligger lägst på TRL-skalan bland de olika teknikerna har de högsta kostnaderna per scenario. 137 miljoner EUR är kapitalkostnaden för CAP med värmepump för en anläggning för Block 3

och Block 4 tillsammans. 120 miljoner EUR är kapitalkostnaden för CAP utan värmepump. Kostnaden för ett separat kylsystem ingick inte i beräkningarna (då den är försumbar i den totala kostnaden för koldioxidavskiljning), men det är viktigt att ha detta i beaktning då Aminer och CAP utan värmepumpsintegreringar har ett betydligt högre kylbehov än de två andra teknikerna vilket kommer att kräva större kylanläggningar om avskiljningsanläggningen kommer att köras utan värmepump.

Kapitalkostnaden för en HPC ES med värmepump för Block 3 och Block 4 är 103 miljoner EUR. Motsvarande siffra för en HPC FE är 137 miljoner EUR. Anledningen till att HPC ES har en lägre kapitalkostnad jämfört med HPC FE är att HPC ES kräver en mindre komplex anläggning med färre komponenter.

Kapitalkostnaderna för teknikerna i de olika scenarion med värmepumpsintegrering skiljer sig från resultatet utan värmepumpsintegrering. För de två HPC-teknikerna för Block 3 så blir kostnadsskillnaden 3 % mellan integrerad värmepump och utan. För Block 4 så blir det en marginell kostnad för de två HPC-teknikerna eftersom temperaturen på rökgasflödet i kondensorn är lägre (44 °C) jämfört med i Block 3 (55 °C). För Aminer skiljer ca 14 % mellan samtliga scenarion med och utan värmepumpsintegration. Detta beror på att Aminer och CAP erfordrar stora värmepumpar för att täcka kylbehovet, vilket återspeglas i ökade kostnader vid större kapaciteten. I Tabell 6 och Tabell 7 ses kylbehovet för de olika teknikerna.

4.1.19.2 Driftkostnader

Driftstiden för en anläggning för att avskilja och förvätska koldioxid är 20–30 år. För att fastställa kostnaderna för drift och underhåll är det viktigt att ta hänsyn till flera faktorer för att säkerställa en effektiv och hållbar process som energianvändningen, kemikaliehanteringen, underhåll, personal och utrustning. Genom att ta hänsyn till dessa faktorer säkerställs en kostnadseffektiv drift av processer, samtidigt säkerställs en hög effektivitet och tillförlitlighet.

Energianvändningen behöver optimeras för att minska driftkostnaderna. Det kan innebära användning av energieffektiva teknologier och optimering av processerna för att minska energiförluster.

Om processen kräver kemikalier, måste kostnaderna för inköp, hantering och avfallshantering beaktas. Det är viktigt att minimera kemikalieavfallet och se till att avfallshantering utförs på ett säkert och miljövänligt sätt.

Kostnaderna för inköp och installation av utrustning måste beaktas, men det är också viktigt att tänka på livslängden för utrustningen och dess förmåga att hantera eventuella framtida behov. Regelbundet underhåll är viktigt för att säkerställa att utrustningen fungerar på optimal nivå och minskar risken för driftstörningar. Det är viktigt att planera för underhållsaktiviteter och budgetera för eventuella reparationer eller utbyten av utrustning/komponenter. Därav är det viktigt att anläggningen är byggd för att enkelt kunna underhållas för att upprätthålla krävd funktion.

Kostnaderna för personal, inklusive löner och utbildning, måste också tas hänsyn till. Det är viktigt att ha tillräckligt med utbildad personal för att säkerställa en säker och effektiv drift av processen.

4.1.19.2.1 Resultat Driftkostnader (OPEX)

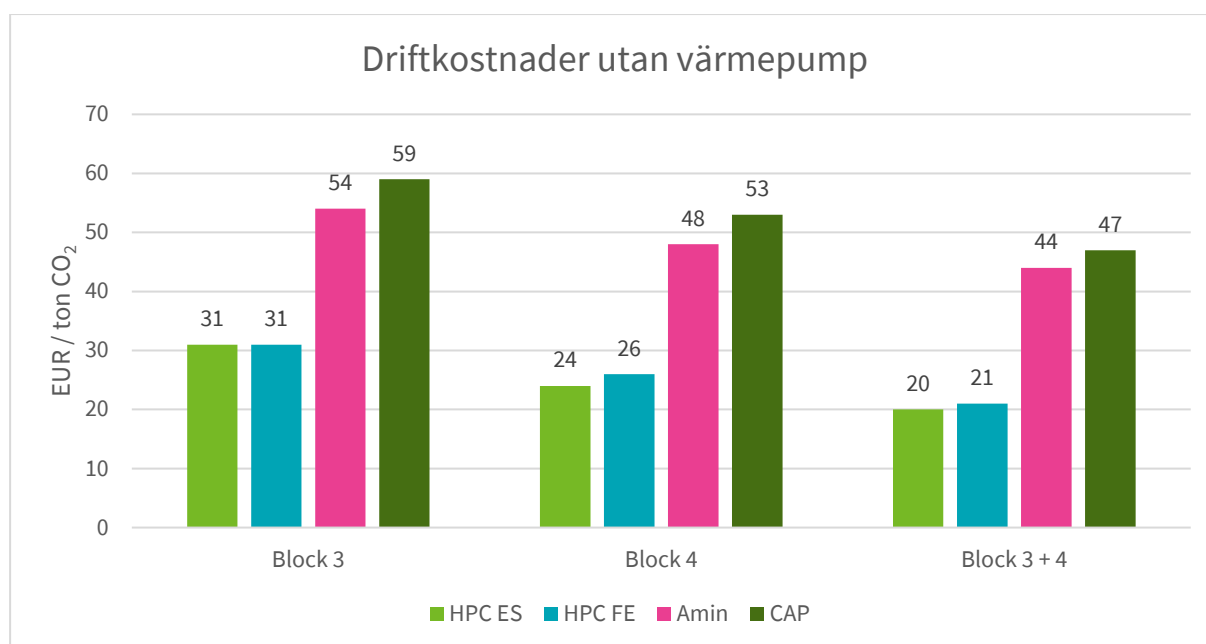
Driftkostnaderna har beräknats vid antagna produktionskostnader som ses i Tabell 15.

Produktionskostnaderna är endast estimerade för studien. Det är antaget att all värme som återvinns kan exporteras och säljas direkt till fjärrvärmenätet samt att det inte ingår någon form av beskattning på el för samtliga scenarier och tekniker. Vid fortsatt projektgenomförande bör driftkostnaderna beräknas med varierade produktionskostnader för elektricitet, ånga och fjärrvärme för att se hur priset för el, ånga och fjärrvärme påverkar driftkostnaderna.

Tabell 15 visar estimerade produktionskostnader för Opex-beräkningar.

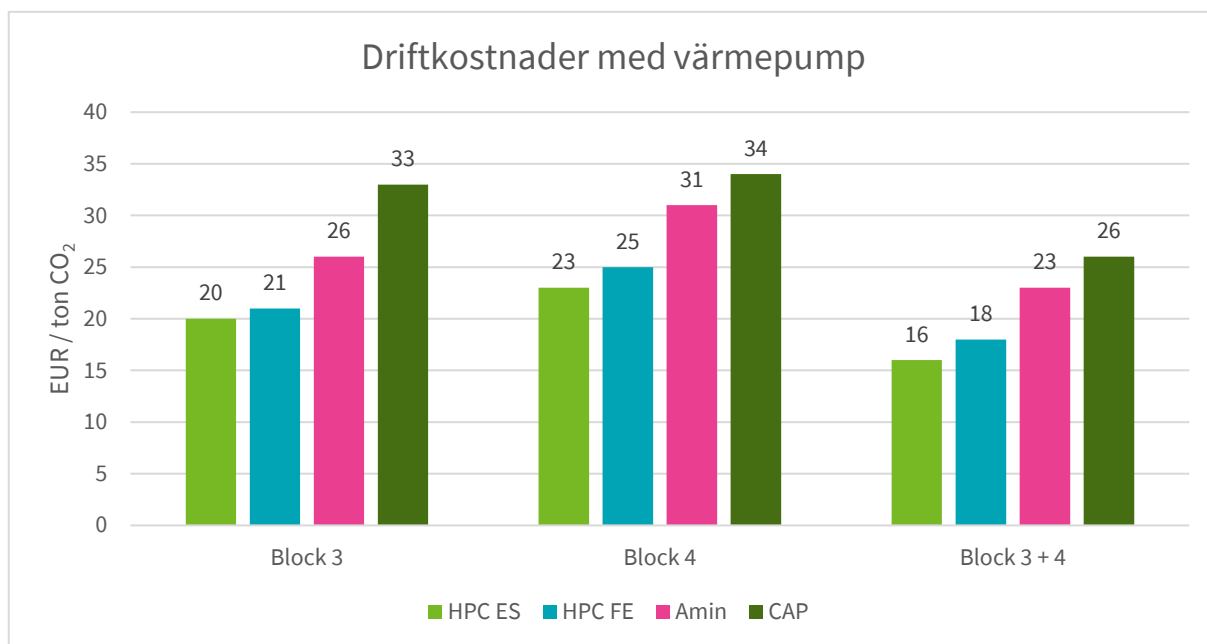
Produkt	Pris	Valuta
Elektricitet	50	EUR/MWh
Lågtrycksånga	37,5	EUR/MWh
Högtrycksånga	40	EUR/MWh
Fjärrvärme	37,5	EUR/MWh

I Figur 17 ses driftkostnader för samtliga tekniker och scenarier. Driftkostnaden är lägst med HPC EF på 20 EUR/ton CO₂ i scenariot med Block 3 och Block 4 tillsammans. Motsvarande driftkostnad är högst för CAP på 47 EUR/ton CO₂. Den stora skillnaden mellan HPC-processerna och Amin samt CAP är att det krävs ett större kylbehov för Amin och CAP på grund av högre rökgastemperaturer i kondensatorn vilket ger ökade driftkostnader. Det kan ses i Figur 17 då Block 3 har en högre rökgastemperatur på 55 °C med högre driftkostnader för alla tekniker jämfört med Block 4 som har en rökgastemperatur på 44 °C. Men även koldioxidhalten i rökgaserna i Block 4 är högre med 13,6 % vilket kan jämföras mot Block 3 på 9,8 % vilket ger en högre effektivitet och lägre driftkostnader. Vid scenariot för Block 3 & Block 4 tillsammans är det uträknat en rökgastemperatur på 48,3 °C och en koldioxidhalt i rökgaserna på 12,1 %.



Figur 14 visar skillnaden för driftkostnader EUR/ton CO₂ mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan värmepump.

Driftkostnader för de olika teknikerna och scenarier med värmepumpsintegrering ses i Figur 18. Med värmepump minskar driftkostnaden för samtliga teknologier. Detta är ett resultat av att den lågvärdiga värmen omvandlas med en värmepump till högvärdig fjärrvärme som kan säljas vilket ger en minskad driftnettokostnad.

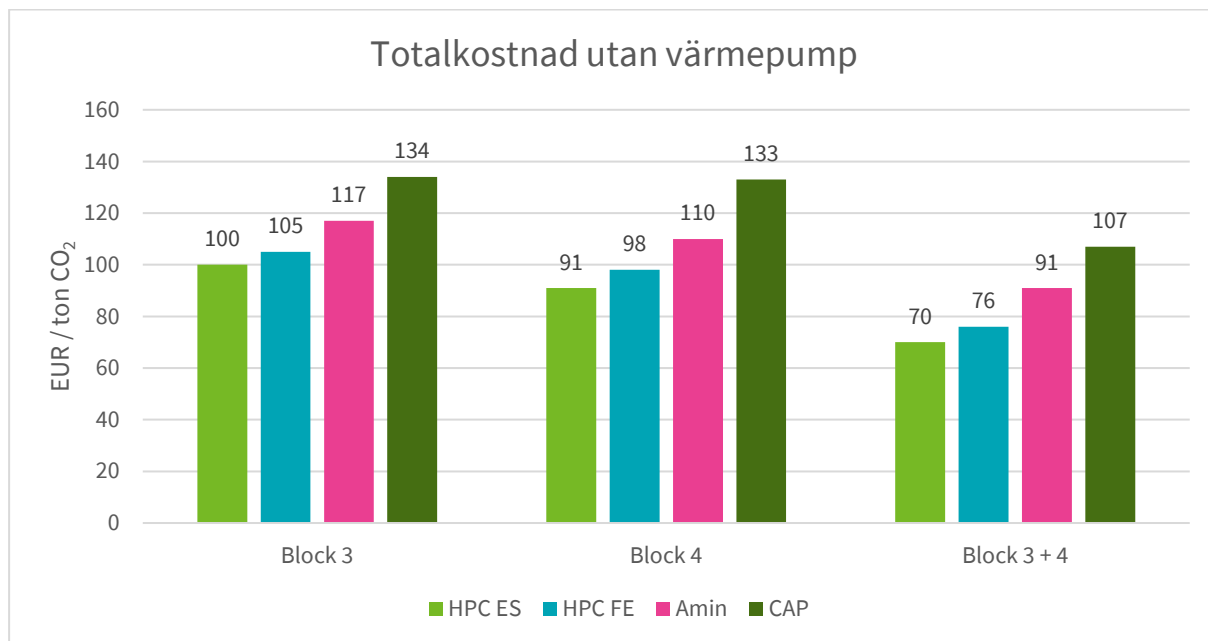


Figur 15 visar skillnaden för driftkostnader EUR/ton CO₂ mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP med värmepump.

Vid fortsatt utredning är det viktigt att inkludera exkluderade kostnader i Opex-beräkningarna och utvärdera olika scenarios produktionskostnader. Det är viktigt att analysera ändrade förhållanden mellan elpris och fjärrvärmepris för att se utfallet på driftkostnaden.

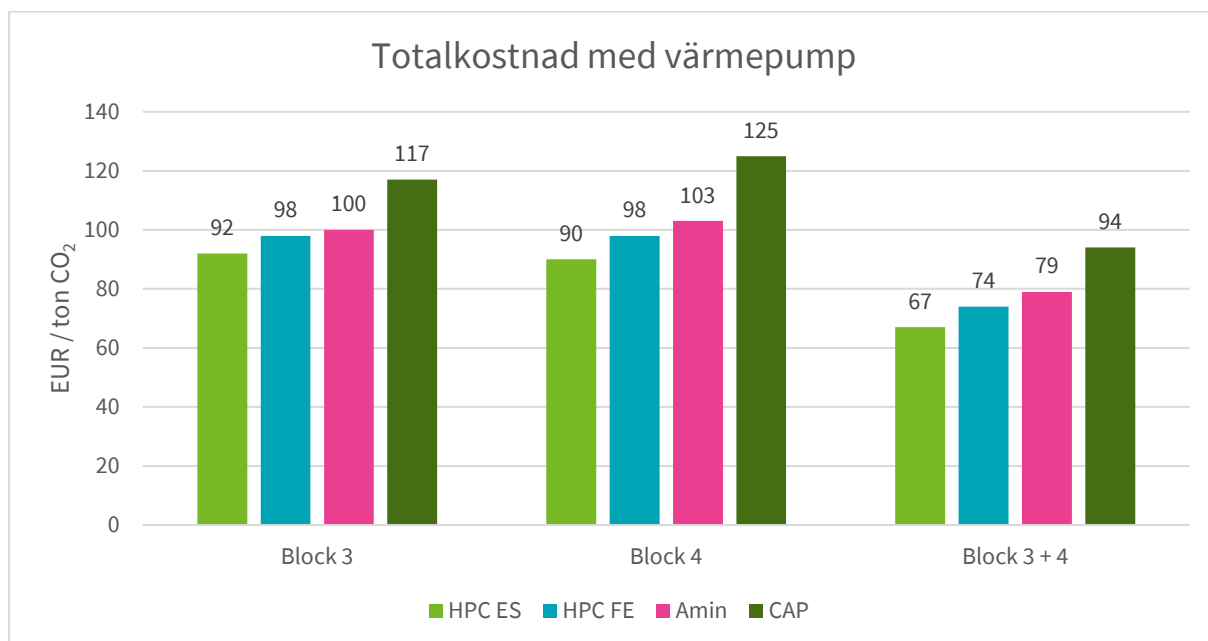
4.1.19.3 Resultat Totalkostnad (CAPEX + OPEX)

I Figur 19 ses totalkostnaden för en avskiljningsanläggning och förvätskningsprocess utan värmepump. Totalkostnaden består av kapitalkostnad och driftkostnad (Capex & Opex) tillsammans. HPC ES är den teknik med lägst kostnad för en Bio-CCS-anläggning med förvätskning för Block 3 och Block 4 tillsammans med 70 EUR/ton CO₂. CAP-processen är det dyraste alternativet med en totalkostnad på 107 EUR/ ton CO₂.



Figur 16 visar skillnaden för totalkostnader euro/ton CO₂ mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP utan värmepump.

I Figur 20 ses totalkostnaden för en avskiljningsanläggning och förvätskningsprocess med värmepump. Totalkostnaden består av kapitalkostnad och driftkostnad (Capex & Opex) tillsammans. HPC ES är den teknik med lägst kostnad för en Bio-CCS-anläggning med förvätskning för Block 3 och Block 4 tillsammans med 67 EUR/ton CO₂, men avviker inte mycket från HPC FE med 74 EUR/ ton CO₂ och Amin-processen med 79 EUR/ ton CO₂. CAP-processen är det dyraste alternativet med en totalkostnad på 94 EUR/ ton CO₂.



Figur 17 visar skillnaden för totalkostnader EUR/ton CO₂ mellan de olika blocken mellan teknikerna HPC ES, HPC FE, Amin & CAP med värmepump.

Båda resultaten visar tydligt på minskade totalkostnader med ökad mängd koldioxid som avskiljs. Totalkostnaden för teknikerna HPC ES och HPC FE skiljer sig inte avsevärt med eller utan värmepumpsintegrering. Detta eftersom det finns mer högvärdig värme att sälja som fjärrvärme och att kylbehovet inte är lika stort som hos de andra teknikerna. För Amin och CAP-processerna visar resultatet att totalkostnaden med en värmepump är till deras fördel då den totala kostnaden minskar med ungefär 13 % för de båda alternativen. HPC ES-processen med koldioxidavskiljning från både Block 3 och Block 4 är den teknik med lägst kostnad för en Bio-CCS-anläggning 67 EUR/ton CO₂.

4.1.20 Betygsättning av avskiljningstekniker

Projektgruppen har gjort en bedömning för respektive teknik genom att betygsätta dessa med avseende på totalkostnad, el- och ånganvändning, kylbehov, flexibilitet i lastprofil, TRL-nivå, CRI-nivå och hälsa, säkerhet och miljö. Tre prickar motsvarar det högsta betyget och en prick motsvarar det sämsta betyget.

Tabell 16 visar projektgruppens bedömning av avskiljningstekniker med värmepump från resultat i studien.

Metod	Capex & Opex	El-användning	Kylbehov	Ång-användning	Flexi-bilitet	TRL	CRI	HSE	Totalt
HPC ES	●●	●	●●	●●	●	●●	●●	●●	14 st
HPC FE	●●	●	●●	●●●	●	●●	●●	●●	15 st
Aminer	●●	●●	●	●	●●	●●●	●●●	●	15 st
CAP	●	●●●	●	●	●●	●	●	●	11 st

Vid summering av bedömningen får HPC FE och Amin-processerna med värmepump flest prickar med 15 st. Dock får HPC ES 14 prickar. Projektgruppens bedömning är att det inte finns någon entydig

vinnare i dagsläget. En ny industri växer fram och utvecklingen sker i en snabb takt. I utredningen har flertalet antaganden fått göras då det är så pass nytt med få eller inga referensprojekt.

4.1.21 Diskussion AP1

Den tekniska studien visar att en installation av en Bio-CCS-anläggning för avskiljning och förvätskning av koldioxid från rökgaserna är en energikrävande process. En Bio-CCS-anläggning kommer att förändra Skövde Energis energiprofil. Skövde Energi tillgodoser ca 15 % av den lokala eleffekten och det är viktigt med en flexibel koldioxidavskiljningsanläggning för att möta det lokala effektbehovet. Vid val av teknik för koldioxidavskiljning och förvätskning är det viktigt att beakta storlek, kapacitet, effektivitet, flexibilitet, kompabilitet med befintlig anläggning, underhållsbehovet, kostnader, energikrav, miljöpåverkan, skalbarhet för ökad kapacitet, tillstånd och risker.

Projektgruppen har utfört mass- och energibalansberäkningar och kostnadsuppskattningar tillsammans med Captimise för tre olika scenarios, koldioxidavskiljning för endast Block 3 och Block 4 separat samt tillsammans.

Det specifika energibehovet för koldioxidavskiljning är mellan 0,9 – 2,9 MJ/kg CO₂ för Block 3 och Block 4 tillsammans utan värmepumpsintegrering och mellan 1,0 – 3,6 MJ/kg CO₂ med värmepumpsintegrering. Det specifika energibehovet för HPC FE avviker avsevärt från de andra teknikerna och projektgruppen bedömer att detta resultat är optimistiskt, men är svårt att jämföra med en anläggning då det inte finns någon i full skala.

Initialt i projektet fick projektgruppen en uppfattning om att den optimala avskiljningskapaciteten för koldioxid är ca 90 %. Över 90 % kommer energibehovet och därmed driftkostnaderna för HPC- och CAP-tekniken att öka markant. För HPC-tekniken beror detta på att trycket i processen behöver ökas vilket kräver mer komprimering och för CAP så ger en ökad avskiljning upphov till ökad energiåtgång samt mer kylbehov. Dock har nyligen utförda studier³² påvisat att avancerade Aminer kan avskilja upp till 99 % koldioxid från rökgaserna med en minimal ökning av den totala energin som behövs.

Utifrån projektgruppens analyser av olika scenarios framgår det att en anläggning för Block 3 och Block 4 tillsammans är det mest kostnadseffektiva alternativet per ton avskild och förvätskat koldioxid. Kostnaden för avskiljningen för båda anläggningarna tillsammans utan värmepump är mellan 70 – 107 EUR/ton CO₂ och med värmepump mellan 67 – 97 EUR/ton CO₂. Dessa prisintervall har även bekräftats av Leverantör A, dock med kommentaren att driftkostnaderna i projektgruppens beräkningar är något låga. Då projektstart var den 1 december 2021 gjordes antaganden under rådande förhållanden då med en relativt stabil elmarknad och stabila materialpriser. Sedan inträffade invasionen av Ukraina vilket påverkade elmarknaden med högre elpriser vilket är en av förklaringarna till att framkomna driftkostnader i detta projekt är i underkant. Dock kan det vägas upp mot lägre kapitalkostnader vilket Leverantör B hänvisar till. Detta på grund av antalet på beställningar av CCS-anläggningar ökar och att en standardisering av CCS-anläggningar hos leverantörerna utvecklas vilket ger lägre kostnader då det resulterar i massbeställningar i valda komponenter.

³² 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.

I dagsläget har samtliga tekniker analyserade i detta projekt både fördelar och nackdelar. För upphandling av en koldioxidavskiljningsanläggning kommer kravställningen på anläggningen att vara avgörande för att fungera optimalt utifrån Skövde Energis förutsättningar. Projektgruppen rekommenderar att koldioxidinfångningsanläggningen dimensioneras så att den kan upprätthålla funktionen även vid lägre last. Det är även viktigt att välja en teknik som enkelt kan kapacitetökas för eventuella framtida effektökningar. Därför kan modulära lösningar vara att föredra som enklare kan skalas vid eventuella krav för en framtida anläggning.

Projektgruppen poängterar att driftkostnaderna i denna studie är låga i förhållande till den verklighet som råder vid projektets slutskede i maj år 2023. Projektgruppen vill belysa att prisförhållandet mellan ånga och el påverkar driftkostnaderna markant. Skillnad i enhetspris för el och ånga kan uppgå till en faktor 2 medan det i denna studie endast är en prisvariation på 25 %. HPC-tekniken är i grundutförandet en process som har större elbehov än Amin- och CAP-teknikerna vilka har ett större ångbehov. Så beroende om elpriset är lågt eller om ångpriset är lågt så kommer detta att ge olika fördelar till de olika teknikerna. Det är viktigt att i fortsatta studier sätta upp olika scenarion för produktionskostnader för att se skillnad på utfallet.

Idag är Amin-tekniken den mest kommersiellt tillgängliga. Aminer klarar lastvariationer ner till 30 % vilket är en stor fördel vid dimensionering av koldioxidavskiljningskapacitet. Den största energianvändningen hos en Amin-process är vid regenerering av lösningsvätskan vilket kan vara upp till 70–80 % av den totala energianvändningen. Äldre aminer som MEA (monoetanolamin), vilka ofta förekommer i studier på grund av dess långa historik, är generellt sett mer känsliga för degraderingar av ämnen som finns i rökgaserna från en förbränningsprocess. MEA har oftast använts inom andra processer med annan typ av rökgassammansättning. Utveckling av avancerade aminer sker kontinuerligt för mer effektiva och tåliga lösningsvätskor med minskat energibehov. Idag finns det ett antal ledande patenterade lösningsvätskor som är tåligare mot degradering och med ett mindre energibehov jämfört med traditionella MEA. Dock är ångbehovet fortsatt högre för Aminer jämfört med HPC-processerna.

Minst behov av ren elektricitet utan värmepumpsintegrering hade CAP-tekniken följt av Aminer. Med värmepumpsintegrering var elbehovet relativt jämnt fördelat mellan de olika teknikerna i studien. Kylbehovet var högst med Aminer och CAP-tekniken. Ånganvändningen är relativt likvärdig energimässigt för alla tekniker utom HPC FE som producerar egen ånga internt. Det som dock skiljer är att med HPC ES kan eventuellt 2 bars ånga tas ut från sekundärsidan på turbinen om det är tekniskt möjligt för turbinen i fråga. Aminer och CAP erfordrar ett högre tryck på ca 5 bar i processerna och kommer att behöva ta ut ånga innan turbinen vilket resulterar i mindre ånga för elproduktion. Därför får HPC ES en bättre ångbehovsbedömning än vad Aminer och CAP får.

HPC-processen kräver en stabil driftprofil. Den stora rökgaskompressorn erfordrar en stabil drift utan större lastvariationsförändringar för att kunna upprätthålla funktionen. Ner till 70 % last är det genomförbart att bibehålla funktionen, men vid laster under 70 % börjar processen att recirkulera rökgaser för att upprätthålla kompressorns drift. När rökgaser börjar att recirkuleras så blir detta en direkt extra driftkostnad då kompressorn kräver samma mängd el för arbetet att komprimera, men med minskade rökgasflöden för koldioxidavskiljning. Därför är HPC-processerna bättre anpassade till en anläggning med stabil drift och lite lastvariationer. Dock är kylbehovet är mindre än för Aminer och

CAP då kylbehovet främst krävs för tvätt av rökgaser innan rökgaskompressorn. Den rådande energimarknaden idag med effektbrist även lokalt i Skövde så bedömer projektgruppen att HPC-processen inte är lämplig då en koldioxidavskiljningsanläggning som klarar lastvariationer erfordras till Skövde Energi.

En förvätskningsanläggning för koldioxid kräver ofta en konstant tillförsel av koldioxidgas för att upprätthålla processen och producera flytande koldioxid. Generellt sett så har förvätskningsanläggningar en begränsad flexibilitet i lastprofilen. Reglerområdet på en kompressor refererar till förmågan att justera och variera kapaciteten eller utmatningen på kompressorn. En kompressor med stort reglerområde kan hantera stora variationer i lastförhållandet. Det är därför viktigt att utreda detta vidare då behovet av en avskiljningsanläggning som klarar stora lastvariationer kan vara avgörande.

Aminer är den teknik som är mest mogen och utvecklad inom Bio-CCS. Det finns flera fullskaliga Amin-process-anläggningar i drift och därav får tekniken det högsta betyget på TRL- och CRI-skalan. CAP är den tekniken som får lägst betyg på skalorna då tekniken inte har någon historisk användning utan har enbart utvecklats för denna typ av förbränningsprocess. Det finns däremot relativt stora demonstrationsanläggningar för denna process vilket värderas till en 7:a på TRL-skalan. I denna förstudie är dock CAP den teknik med lägst betyg på skalorna om det jämförs med HPC och Amin.

Kapitalkostnaden i studien är lägst för Amin-tekniken utan värmepumpsintegrering samt för HPC ES med värmepumpsintegrering. Dock är osäkerheten $\pm 30\%$ på kapitalkostnaden. Leverantör A har indikerat att kapitalkostnaden idag är lägre än vad som beräknats fram i studien (antagligen på grund av modulbaserade processer), men driftkostnaden är högre idag i maj år 2023. Driftkostnaderna för Aminer och CAP är högre än för HPC ES samt FE, men dessa siffror innehar mer osäkerhet och är väldigt beroende av prissättning för produktionskostnader då en högre prissättning på elektricitet hade gett högre driftkostnader för HPC. Högre prissättning på ånga hade ökat driftkostnaderna för Aminer och CAP.

HPC ES-tekniken kräver den minsta anläggningsytan för Block 3 och Block 4 tillsammans med ca 2400 m² och CAP den största ytan med 2900 m². Detta kan jämföras med Vattenfall AB:s planerade Bio-CCS-anläggning i Jordbro för avskiljning av 150 000 ton koldioxid årligen med en totala beräknad yta på ca 5000 m² och med en mellanlagringsvolym på ca 1000 m³. Det är troligt att Skövde Energis anläggning kommer behöva liknande ytor och storlek på mellanlager.

4.1.22 Rekommendation teknik

Flera faktorer och parametrar vägs in för att rekommendera den mest lämpliga tekniken för en koldioxidavskiljningsanläggning. Denna studie har påvisat skillnader i de olika teknikerna HPC ES, HPC FE, Aminer & CAP.

Att enbart välja teknik med fokus på totalkostnad är inte rimligt då det finns flera faktorer som bör tas i beaktning utifrån Skövde Energis förutsättningar. Bland annat finns det en felmarginal på kapitalkostnaden med $\pm 30\%$ och en osäkerhet kring driftkostnaden. Rekommendationen är att det antingen görs en funktionsupphandling i vilken Skövde Energi specificerar krav på avskiljning och förvätskning av koldioxid eller att en teknik väljs och mer detaljerade kalkyler görs vid olika

driftsförhållanden för att få en bättre uppskattning på produktionskostnaden. Förhoppningen är att teknikleverantörerna utvecklas och blir fler samt att världsläget blir mer stabilt för att kunna erhålla en mer precist kostnadsuppskattning.

CAP-tekniken kommer inte att vara ett passande val för Skövde Energis anläggningar i dagsläget. Detta beror till stor del på kravet av låga rökgastemperaturer in till processen som skapar stort kylbehov. CAP-tekniken ligger även lägre på TRL- och CRI-skalan och har ingen historisk erfarenhet som Aminer och HPC-teknikerna. Resultaten för CAP har också visat att kostnaderna för samtliga scenarios är högst med denna teknik.

HPC-tekniken är en mindre beprövad teknologi än Aminer inom koldioxidavskiljning efter förbränning och det finns flera osäkerheter kring denna teknik eftersom det inte finns någon fullskalig anläggning i drift. Däremot pågår mycket forskning och utveckling kring just HPC-tekniken och flera andra energiföretag tittar på denna teknik för koldioxidavskiljning inom kraftvärmesegmentet. Bland annat har Stockholm Exergi valt denna teknik för sitt storskaliga Bio-CCS-projekt på KV8 i Värtan.

Aminer är en känd teknologi som ligger högst både på TRL- och CRI-skalan med konkurrenskraftiga kostnader samt ett lägre risktagande. Det är också denna teknik som är den enda i studien som har fullskaliga anläggningar i drift inom detta segment. Amintekniken erbjuder, större flexibilitet i driftprofil (kan vid behov bevara mer av elproduktionen), mindre riskbenägenhet med välbeprövad teknik och högre avskiljningsgrad. Projektgruppens rekommendation är att Skövde Energi vidare utreder Aminbaserad teknik i första hand då kraven är en mer flexibel process samt bevarandet av elproduktion vid vissa tillfällen är av hög prioritet. Skövde Energi bör även i nästa steg genomföra en detaljerad teknisk optimerings- samt integreringsstudie.

4.2 AP2 Tillstånd och omvärldsbevakning

4.2.1 Bakgrund och genomförande

Inom Arbetspaket 2 har tillstånd som krävs för en avskiljningsanläggning och kringliggande infrastruktur utvärderats. I arbetsgruppen ingick personal från Skövde Energi och Klimpo samt konsulter och jurister från Justitica AB.

4.2.2 Mål och avgränsningar

Ansökan till Energimyndigheten preciserade att arbetspaket 2 skulle innefatta: Erforderliga tillstånd för en Bio-CCS-anläggning. Vidare preciserades i ansökan att delprojektet ansvarar för att *”identifiera de tillståndsprocesser som är nödvändiga i och kopplade till Bio-CCS-kedjans delar till och med förvätskning.”* Delprojektet ansvarade även för att *”bedriva aktiv omvärldsbevakning och kunskapsinhämtning för lagstiftning på nationell och internationell nivå.”*

Projektgruppens huvudfokus har varit de tillståndsprocesser och krav som gäller för Skövde Energi vid uppförandet av en koldioxidavskiljningsanläggning. Projektgruppen har även tittat på krav för transporter av infångad koldioxid från mellanlagring till permanent lagring vilka beskrivs i arbetspaket 4.

Projektgruppen har följt utvecklingen av lagstiftning för avskiljning av koldioxid både i Sverige och internationellt samt två påbörjade tillståndsprocesser för avskiljningsanläggningar i Sverige.

4.2.3 Kraftvärmeverken och befintliga miljötillstånd

På Timboholms industriområde i Skövde har Skövde Energi en kraftvärmelanläggning med två stycken kraftvärmepannor där koldioxidavskiljning kan komma ifråga, Block 3 och Block 4.

4.2.3.1 Block 3

Block 3 är en avfallsförbränningsanläggning som togs i drift år 2005. Avfallsbränslet utgörs huvudsakligen av hushålls- och industriavfall. Tillståndet för Block 3 är från år 2004. Villkoren har uppdaterats i sex omgångar sedan dess, senast år 2017. Villkoren gäller bland annat: avfallstyper, hanteringen av avfall och kemikalier, utsläpp till luft och vatten, buller samt riskanalys.

Block 3 faller under koden 90.211-i och 90.191 i Miljöprövningsförordningen (2013:251) (MPF). Block 3 är en industriutsläppsverksamhet och faller därmed även under industriutsläppsförordningen (2013:250).

4.2.3.2 Block 4

Block 4 är ett biobränsleldat kraftvärmeverk som togs i provdrift i oktober år 2016. Bränslet består av grenar och toppar från skogsavverkningar samt spån och bark från skogsindustrin.

Tillståndet för Block 4 är från år 2014 med en villkorsändring från år 2020. Villkoren inkluderar bland annat bränsle, lagring, skorstenshöjd, utsläpp till luft och vatten, buller, aska, hantering av avfall och kemikalier, hantering av vatten, riskanalys samt kontrollprogram.

Block 4 faller under koderna 40.51 B och 39.90 C i MPF.

4.2.4 Koldioxidutsläpp

De två kraftvärmepannorna är anslutna till varsin skorsten. Koldioxidutsläppen är cirka 125 000 – 145 000 ton per år. Av dessa beräknas över 100 000 ton vara biogena utsläpp.

I Tabell 19 ses en detaljerad bild av koldioxidutsläppen från anläggningen.

Tabell 17 visar koldioxidutsläppen från Block 3 och Block 4 under år 2012 till år 2022.

	År 2019		År 2020		År 2021		År 2022	
	Block 3	Block 4	Block 3	Block 4	Block 3	Block 4	Block 3	Block 4
Fossil CO₂ (ton)	22 857		25 069		25 663		26 897	
Biogen CO₂ (ton)	38 095	70 602	39 210	63 785	38 029	72 472	32 727	85 458

Koldioxidutsläppen är beräknade av Skövde Energi utifrån rutinen för beräkning av koldioxidutsläpp för anläggningar som ingår i handeln med utsläppsrätter. Skövde Energi utför inte kontinuerlig mätning av de fossila utsläppen av koldioxid från Block 3, utan beräknar koldioxidutsläppen utifrån Naturvårdsverkets hänvisningsvärden (schablonvärden) som uppdateras årligen. För år 2022 var den fossila andelen i avfallet 44,77%.³³ Förhoppningen är att kunna avskilja upp till 100 000 ton koldioxid per år.

4.2.5 Tillstånd för koldioxidavskiljningsanläggningen

4.2.5.1 Bygglov

För anläggandet av nya byggnader för avskiljning, förvätskning och lagring av koldioxid på området krävs bygglov. När beslut tagits 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 mellan byggnaderna. Ett eventuellt samråd för detaljplanen kan samordnas med samrådet för miljötillståndet.

Idag finns en detaljplan för ”Värmeväxeln”, planbeteckning 1496K-DP510³⁴, där de befintliga kraftvärmeverken är uppförda. Här finns viss plats för uppförandet av en avskiljningsanläggning i anslutning till Block 3 och Block 4. Ett annat område som kan komma i fråga för uppförandet av avskiljningsanläggningen och/eller mellanlagret för koldioxiden finns mittemot den befintliga anläggningen, på andra sidan Energivägen. Detta område har för närvarande ingen detaljplan. Skövde Energi är i skrivande stund involverade i diskussioner angående den framtida detaljplanen för området som är öronmärkt för industriell verksamhet.

4.2.5.2 Miljötillstånd

I dagsläget är det osäkert huruvida koldioxidavskiljningen kommer införas på Block 3, Block 4 eller både Block 3 och Block 4. Oavsett vilket alternativ som blir aktuellt så kommer uppförandet av en

³³ För år 2021 var den fossila andelen i avfallet 39,88%.

³⁴ Befintliga detaljplaner <https://karta.skovde.se/linkdokument/planbest/dp510.pdf>

avskiljnings- och förvätskningsanläggning samt lagring av koldioxid på området att kräva ett nytt eller ändrat miljötillstånd.

Avskiljning av koldioxidflöden klassas som miljöfarlig verksamhet och har tillståndsplikt B i MPF. Miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen Västra Götalands län är tillståndsgivande myndighet. För industriutsläppsverksamheter gäller verksamhetskod 90.500-i för avskiljning av koldioxidflöden ämnade för geologisk lagring av koldioxid (29:62 MPF). Avskiljning av koldioxid på Block 3 klassas därmed även som industriutsläppsverksamhet.³⁵ För övriga anläggningar som inte är industriutsläppsverksamheter är verksamhetskoden 90.510 (29:63 MPF).

Projektgruppen noterar att det i dagsläget finns flertalet tekniska parametrar som ännu inte beslutats angående avskiljning, förvätskning och lagring. Dessa parametrar inkluderar till exempel vilka kemikalier som kommer att användas på anläggningen, i vilka mängder, samt vilka metoder för kylning och förvätskning av koldioxid som kommer att användas. Ytterligare parametrar är mängden koldioxid som kommer att lagras inför borttransport, effekt på eventuella värmepumpar, etc. Denna typ av verksamhet och hantering kan vara föremål för krav på miljötillstånd i MPF, vilket behöver granskas vidare i nästa projektfas.

4.2.6 Nytt tillstånd eller ett ändringstillstånd

I dagsläget finns ingen regel eller prejudikat för huruvida uppförandet av en koldioxidavskiljningsanläggning innebär att ett nytt tillstånd *måste* sökas. Vid ändring av en miljöfarlig verksamhet får tillståndet begränsas till att enbart avse ändringen (ändringstillstånd) i enlighet med 16 kap 2a § MB. Ett ändringstillstånd är ofta att föredra eftersom tillståndsprocessen då omfattar en mindre del av verksamheten och omprövning av befintliga villkor för anläggningen kan undvikas. Handläggningstiden för ändringstillstånd är därmed också kortare än för ett nytt tillstånd. Under samråd med Länsstyrelsen diskuteras huruvida ett nytt tillstånd måste sökas eller om uppförandet faller under ett ändringstillstånd.

Skövde Energi har inte varit i kontakt med Länsstyrelsen för att diskutera avskiljningsanläggningen i detta skede. Projektgruppen noterar att Vattenfall AB, i ett remissvar avseende stödsystemet för Bio-CCS, angett att de varit i dialog med Länsstyrelsen (i ett annat län) och att det i dessa diskussioner *”framgått att det bör räcka med ett ändringstillstånd för att bygga en Bio-CCS-anläggning”*. Vidare skriver Vattenfall AB att handläggningen för ändringstillståndet förväntas ta cirka 1-2 år och att Länsstyrelsen lämnat beskedet att ett förhandsbesked inte kan ges.³⁶

En ansökan om tillstånd att ändra en verksamhet skall innehålla en redogörelse för alla tillståndsbestämmelser och villkor som gäller för verksamheten enligt tidigare tillstånd, samt de uppgifter som behövs för att bedöma om ett sådant ändringstillstånd är lämpligt.

Ett ändringstillstånd är med hänsyn till kortare handläggningstid och en mer avgränsad process att föredra för Skövde Energi. Projektgruppen har uppmärksammat att tillståndet för Block 3 är från 2004. Idag har tillsynsmyndigheterna som riktlinje att så långt som möjligt göra en översyn av

³⁵ Anläggningen omfattas därmed även av kraven under industriutsläppsförordningen (2013:250), såsom 23 § (statusrapport).

³⁶ s. 4, Remissvar från Vattenfall AB avseende Energimyndighetens rapport *”Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS”*, 2022-03-31.

föråldrade miljö tillstånd. Det finns därmed alltid en möjlighet för myndigheten som prövar tillståndet att begära att den skall omfatta ett nytt tillstånd för nuvarande verksamhet. Projektgruppen är av uppfattningen att behovet av omprövning inte borde vara så stort att det föreligger hinder mot att pröva en avskiljningsanläggning genom ett ändringstillstånd.

4.2.7 En avskiljningsanläggning för båda blocken

Teknikstudiens resultat visar att det mest kostnadseffektiva för Skövde Energi är att bygga en avskiljningsanläggning för både Block 3 och Block 4. Om en avskiljningsanläggning byggs för att avskilja koldioxid på både Block 3 och Block 4 och de kvarvarande utsläppen leds ut i en gemensam skorsten så kan dock ett nytt tillstånd för båda pannorna bli tillämpligt. I ett sådant scenario bedömer projektgruppen det som svårare att visa att ansökan kan avgränsas till att endast gälla ändringen. Till exempel blir nuvarande villkor för utsläppsvärdena för respektive panna svåra att mäta då rökgaserna blandas efter avskiljningen och rökgaserna i dagsläget mäts i skorstenen. Det är också osäkert huruvida Skövde Energi skall mäta och skilja mellan biogen koldioxid och koldioxid från fossila bränslen.

Vidare finns skorstensregeln i 36 § förordningen (2013:252) om stora förbränningsanläggningar (FSF) som föreskriver att för pannor som delar skorsten skall respektive effekt summeras. En eventuell tillämpning av skorstensregeln innebär att anläggningen hamnar över gränsvärdet av installerad tillförd effekt om 50 megawatt eller mer. Denna regel torde dock inte bli tillämplig i detta fall då Block 3 är en avfallsförbränningsanläggning och avgränsningen är sådan att anläggningar som faller under förordningen (2013:253) om förbränning av avfall (FFA) inte samtidigt faller under FSF. Därefter räknas endast effekten från övriga pannor ihop, i detta fall Block 4 för sig.³⁷ Enligt 7 § FFA kan en avfallsförbränningsanläggning inte heller vara en samförbränningsanläggning. Vidare finns ingen motsvarighet till skorstensregeln i MPF. Om alternativet med avskiljning på båda blocken blir aktuellt bedömer projektgruppen att saken bör undersökas närmare.

4.2.8 Miljöbedömning

Uppförandet av en koldioxidavskiljningsanläggning på Skövde Energi kräver 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 miljöbalken (MB) då verksamheten är tillståndspliktig enligt 29 kap 62 och 63 §§ MPF. Skövde Energi kan i ansökningsprocessen därför bortse från undersökningssamrådet och börja med avgränsningssamrådet.

Vid avgränsningssamråd skall samrådet påbörjas och samrådsunderlaget lämnas i så god tid att det finns utrymme för en diskussion med myndigheten och andra intressenter innan Skövde Energi utformar miljökonsekvensbeskrivningen och den slutliga tillståndsansökan.

4.2.9 Villkor

Det är i dagsläget svårt att förutsäga vilka villkor som kommer ställas upp i miljö tillstånd för koldioxidavskiljning då frågan ännu inte har prövats i Sverige.

³⁷ Vägledning för stora förbränningsanläggningar, s. 10-12, Naturvårdsverket, 2020-02-06, v 1

4.2.10 Villkor för utsläpp av koldioxid

I miljöbalken finns det en möjlighet för myndigheterna att införa villkor om utsläpp av koldioxid för att hindra koldioxidutsläpp från en verksamhet med avskiljning, komprimering eller transport av koldioxid för geologisk lagring, enligt 16 kap 2c § MB.

4.2.11 Villkor för lagring av avskild koldioxid på anläggningen

Villkoren för miljötillståndet skall omfatta hanteringen av koldioxiden i verksamheten samt säkerställa att lagringen av koldioxiden hos Skövde Energi sker på ett säkert sätt.

Koldioxiden är tänkt att förvaras nedkyld i trycksatta lagertankar på området. Storlek och plats för mellanlagret är inte beslutat. Ett eventuellt koldioxidläckage innebär risk för bland annat kvävning. Riskanalyser för koldioxidläckage samt åtgärder för att minimera en olycka bör genomföras inför tillståndsprcessen. Projektgruppen har fått uppgifter om att andra anläggningar som planerar koldioxidavskiljning fått frågor från myndigheter angående säkerheten kring lagring.

4.2.12 Sevesolagstiftning

Lagen (1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (Sevesolagen) inför vissa skyldigheter för verksamheter som hanterar farliga ämnen. Myndigheter skall informeras om sådana ämnen, en handlingsplan skall upprättas och allmänheten skall informeras.

Ämnen som omfattas av Sevesolagen finns uppräknade i förordning (2015:236) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor. Där hänvisas till den standardiserade klassificeringen av ämnen som är antagen i CLP³⁸. Som exempel kan nämnas att gaser som är klassificerade som brandfarliga, explosiva eller oxiderande omfattas av Sevesolagstiftningen över en viss mängd. Två kravnivåer är satta beroende på vilken fara ett visst ämne representerar vid förvaring och hantering av sådan mängd.

Koldioxid³⁹ är inte klassificerat i den farokategori som nämns i Sevesolagstiftningen.⁴⁰ Koldioxid omfattas således inte av Sevesolagstiftningen.

I dagsläget omfattas Skövde Energi inte av Sevesolagstiftningen. Skövde Energi skall dock undersöka hur förhållandena på närliggande verksamheter kan påverka säkerheten på anläggningen och i synnerhet Sevesoanläggningar.⁴¹ Närmaste Sevesoanläggning är Volvo Powertrain AB som ligger cirka 600 meter från Skövde Energi. Volvo Powertrain ABs verksamhet omfattas av den lägre kravnivån på grund av lagring av cirka 80 ton gasol.⁴²

En möjlig teknik CAP (Chilled Ammonia Process) för koldioxidavskiljning använder ammoniak i processen. Ammoniak är även ett kylmedel som eventuellt skulle kunna bli tillämpligt för kylnings-

³⁸ Europaparlamentets och Rådets förordning (EG) nr 1272/2008 av den 16 december 2008 om klassificering, märkning och förpackning av ämnen och blandningar, ändring och upphävande av direktiven 67/548/EEG och 1999/45/EG samt ändring av förordning (EG) nr 1907/2006.

³⁹ Koldioxid, Carbon dioxide CAS no. 124-38-9, EC no 204-696-9

⁴⁰ EUs Classification and Labelling Inventory där koldioxid har Hazard Statement Codes: H280 alt H281

⁴¹ 13 § Sevesolagen

⁴² Räddningstjänsten Skaraborg, <https://www.rtskaraborg.se/privatperson/seveso-anlaggningar/>

och förvätskningsprocessen efter avskiljningen. Det är i dagsläget osäkert vilken mängd ammoniak som behövs om en process med ammoniak blir aktuellt. Projektgruppen noterar dock att ammoniak faller under Sevesolagstiftningen. Ammoniak⁴³ är klassificerat som brandfarligt samt är ett av de ämnen som är namngivet i Sevesolagen med specifik mängdnivå. Vid förvaring av mellan 50 och 200 ton ammoniak faller anläggningen under den lägre kravnivån. Vid förvaring av 200 ton ammoniak eller mer faller anläggningen under den högre kravnivån. I det fall detta blir tillämpligt bör tillståndsprocessen även beakta Sevesolagstiftningen. Även mindre mängder ammoniak kan behöva utredas i samband med att samverkan med faror vid närliggande verksamheter utreds.

Projektgruppen noterar även att kapitel 22, 25 § miljöbalken innehåller en bestämmelse om undersökningsplikt för möjligheterna att installera en koldioxidavskiljningsanläggning vid uppförandet av en ny förbränningsanläggning med en nominell elektrisk effekt på 300 megawatt eller mer. Företaget måste då undersöka om det finns lämpliga lagringsplatser för koldioxid tillgängliga, om transporten är tekniskt och ekonomiskt genomförbar och att det går att eftermontera utrustning för koldioxidavskiljning. Bestämmelsen infördes 2012. Bestämmelsen blir dock inte tillämplig i Skövde Energis fall då ingen ny förbränningsanläggning planeras för tillfället.

4.2.13 Pågående tillståndsprocesser

Flertalet kraftvärmeverk och andra industrier runt om i Sverige utreder för närvarande möjligheten att avskilja koldioxid för permanent lagring. Flera av dessa projekt är ännu i sin vagga och utgör, liksom i Skövde Energis fall, en förstudie för att skapa en uppfattning om vilka förutsättningar som gäller i deras situation. Andra företag, som till exempel Vattenfall AB och Stockholm Exergi, har kommit längre i sina processer. Utöver bevakningen av dessa två pågående tillståndsprocesser följer Skövde Energi och Klimpo även andra pågående projekt och processer med stort intresse, till exempel i Umeå, Helsingborg, Växjö, Mariestad och Jönköping.

Vattenfall AB har efterfrågat att Energimyndigheten tar fram vägledning för hur ansökningar för avskiljningsanläggningar skall hanteras så att olika Länsstyrelser hanterar ansökningarna på ett likvärdigt sätt.⁴⁴ Projektgruppen har konstaterat att det råder en viss oro för att tidiga tillståndsprocesser kommer att sätta prejudikat för vilken avskiljningsteknik som är acceptabel och att tillståndsprocesserna för andra teknikval försvåras.

4.2.13.1 Tillståndsprocessen för Vattenfall AB, Jordbro

Vattenfall AB planerar uppförande av en koldioxidavskiljningsanläggning utanför Stockholm vid Jordbro kraftvärmeverk i Haninge kommun.⁴⁵ Den nya koldioxidavskiljningsanläggningen planeras att vara i drift senast år 2030 och uppföras vid befintlig förbränningsanläggning med en beräknad kapacitet på ca 150 000 ton infångad biogen CO₂ per år, ca 25 ton CO₂/h. Nuvarande tillstånd från Mark och miljödomstolen är från år 2008. Vattenfall har haft diskussioner med Länsstyrelsen som accepterat att endast ett ändringstillstånd är nödvändigt. Valet av teknik för koldioxidavskiljning är inte gjord, men Vattenfall AB redovisar att tornet för anläggningen kommer att vara mellan 40–70

⁴³ Ammoniak vattenfri, CAS no. 7664-41-7, EC no 231-635-3

⁴⁴ s. 4, Remissvar från Vattenfall AB avseende Energimyndighetens rapport "Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS", 2022-03-31.

⁴⁵ Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06

meter högt. Mellanlagret bedöms uppgå till cirka 1000 m³.⁴⁶ Transport kommer att ske antingen med tåg eller lastbil från anläggningen för vidare transport med fartyg. Total yta för anläggningen beräknas uppgå till 5000 m².

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. Vidare nämner 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 redovisas.⁴⁷

4.2.13.2 Stockholm Exergi – Värtahamnen

Stockholm Exergi planerar för en Bio-CCS-anläggning i Värtaverkets samförbränningsanläggning KVV 8 till år 2026. Förbränningen sker med fossilfria biobränslen och beräknas ha en potential att avskilja upp till 800 000 ton biogen CO₂ per år.⁴⁸ I november år 2021 beslutades att projektet fick stöd av EU:s innovationsfond.

Samrådsunderlaget i tillståndprocessen under miljöbalken beskriver planerna övergripande för koldioxidavskiljningsanläggningen.⁴⁹ Stockholm Exergi redovisar att de ämnar ansöka om ett ändringstillstånd (i motsats till ett nytt tillstånd). De nämner att nuvarande tillstånd är mer än 10 år gammalt (år 2007), men att villkoren för anläggningen omprövades senast år 2019. De lämnade in ansökan hos Mark och miljödomstolen i Nacka den 3 april år 2023. De planerar att ta investeringsbeslutet efter att de erhållit miljötillstånd.⁵⁰

Stockholm Exergi har valt HPC-tekniken (Hot Potassium Carbonate) för koldioxidavskiljningen. Under vinterhalvåret ska överskottsvärmen distribueras i fjärrvärmesystemet och på sommaren ska den kylas i sjövattnet från Lilla Värtan. Stockholm Exergi räknar med att bygga två stycken torn för avskiljningsanläggningen som är 80 m respektive 100 m höga och 9 m i diameter. Den totala ytan för Bio-CCS-verksamheten beräknas till ungefär 15 000 m².⁵¹ De räknar med att kväveoxider och svavel också avskiljs. Resterande rökgaser ska ledas ut i den befintliga skorstenen (143 m) efter avskiljning. Absorbentåtgången beräknas till ca 240 ton per år. Mellanlagret är inte beslutat ännu eftersom företaget fortfarande avvaktar med beslut om transportlösning och slutlagringsplats, men beräknas kunna bli upp till 20 000 m³.

4.2.14 Slutsatser från pågående tillståndprocesser

Projektgruppen följer utvecklingen för både Stockholm Exergi och Vattenfalls tillståndprocess, vad utfallet blir i ändringstillståndet för respektive anläggning. Om tillstånden godkänns som ändringstillstånd så finns det visst stöd för att Skövde Energi också kan ansöka om ändringstillstånd

⁴⁶ s 12-13, ibid.

⁴⁷ s 14, ibid.

⁴⁸ s 33, ibid.

⁴⁹ Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19

⁵⁰ Se nyhet på Stockholm Exergis hemsida den 3 april 2023.

<https://www.stockholmexergi.se/nyheter/stockholm-exergi-tar-nasta-steg-ansoker-om-miljotillstand-for-bio-ccs/>

⁵¹ s 7, ibid.

för en framtida avskiljningsanläggning. Dock måste det beaktas att varje anläggning är unik och har sina respektive nuvarande tillstånd. Tillståndsmyndigheten kan alltid göra bedömningen att ett nytt tillstånd erfordras för verksamheten.

Vattenfall har enligt uppgift i samrådsunderlaget ännu 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. Om ett sådant förfarande accepteras blir det lättare för Skövde Energi att fortskrida med en ansökan om miljötillstånd medan arbetet fortsätter med specificeringar för anläggningen och investeringsbeslut parallellt med ansökningsprocessen.

Stockholm Exergi har kommit längre i sina planer för en koldioxidavskiljningsanläggning än Skövde Energi. Dock är det tydligt att de står inför samma utmaningar som andra aktörer som planerar för Bio-CCS. Det saknas till exempel beslut om var koldioxiden ska lagras permanent och hur den ska transporteras dit. Det medför att utformningen av en Bio-CCS-anläggningen därmed inte kan slutföras och storleken på mellanlagret inte kan tas.

Projektgruppens slutsats är att en tillståndsprocess utgår ifrån lokala förutsättningar, men det återstår flera frågetecken kring teknik- och logistikval som behöver klarnas upp för fortsatt tillståndsarbete. De första Bio-CCS-anläggningarna kommer att bana väg för utformningen av Bio-CCS i Sverige och myndigheternas framtida tillståndsarbete.

4.3 AP3 - Marknad och Kommunikation

Skövde Energi arbetar kontinuerligt för att minska utsläppen från verksamheten och strävar mot målet om klimatpositivt efter år 2030. Med minusutsläppen, genom infångning och lagring av biogen koldioxid, kan Skövde Energi och deras fjärrvärmekunder bli klimatpositiva! Inom detta delprojekt skall kunder och samarbetspartners få information och tycka till om möjligheten till klimatpositiv fjärrvärme.

Syftet med arbetspaket 3 är enligt projektplanen⁵² att ansvara för en intressentdialog. Möjliga intressenter skall identifieras och involveras minst en gång under projektets genomförande. I tillägg skall en marknadsanalys genomföras bland Skövde Energis kunder för informations-spridning om Bio-CCS, minusutsläpp och klimatpositiv fjärrvärme och för att kartlägga intresset för klimatpositiv fjärrvärme. Även en plan för kompetensutveckling skall tas fram för anställda på Skövde Energi.

Delprojektet ansvarar för kommunikationsmaterial och informations-spridning genom artiklar, sociala medier och seminarium.

4.3.1 Genomförande

Klimpo tillsammans med Skövde Energi utgör projektgruppen för arbetspaket 3. Inom denna förstudie har ett stort antal intressenter identifierats och prioriterats, se Bilaga 4 - Intressentlista. Intressentdialoger och aktiviteter med identifierade och prioriterade intressenter redovisas i Bilaga 5 - Dialograpport.

För att nå projektmålen har projektgruppen arbetat med utbildning, dialog och spridning av projektinformation både fysiskt och digitalt. Beroende på syfte och målgrupp har olika kommunikationsmetoder använts. Genom personliga möten, nätverksträffar, konferenser, debatter, studiebesök, via webbplatser och sociala kanaler har projektinformationen nått både interna och externa intressenter.

4.3.2 Stöttat och samordnat projektets kommunikationsbehov

Genom löpande kommunikation och uppföljningsmöten med projektledare och projektdeltagare har projektgruppen säkerställt att hela projektorganisationen har erhållit tillräcklig och aktuell information om projektet och är motiverade och trygga att kommunicera projektet. Utbildningar, nätverksträffar, studiebesök och deltagande i andra forskningsprojekt ligger till grund för detta.

Antalet tillfällen för utbildning har varit omfattande och projektgruppen har insköpt djupgående och relevant kunskap till både förstudien och kommande faser. Projektgruppen har producerat presentationsmaterial, illustrationer, texter samt "Frågor och svar" (Q&A) som har använts av projektgruppen och medarbetare på Skövde Energi.

⁵² Energimyndighetens beslut avseende programprojektet "Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS", daterat 2021-12-28.

4.3.3 Dialograpport

För att säkerställa en ändamålsenlig och inkluderande dialog med alla identifierade intressenter framtog initialt en Kommunikationsplan. Den projektspecifika kommunikationsplanen har fungerat som ett kommunikativt stöd för projektgruppen för att förmedla projektbudskapen både internt och externt, se i Bilaga 6 – Kommunikationsplan.

Projektgruppen har arbetat både internt och externt med tydlig och relevant kommunikation och visat på behovet och nyttan av förstudien samt vad Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme innebär för ett energibolag som Skövde Energi. Ett Bio-CCS-projekt har potential att minska industrins utsläpp i kommunen och inspirera till klimatpositiva initiativ bland exempelvis fastighetsägare och storföretag. Klimatpositiv fjärrvärme och lokala klimatpositiva initiativ behövs för att nå ett klimatpositivt Sverige år 2045. Projektgruppen har arbetat med att skapa förtroende och acceptans för projektet med förhoppningen att det leder till en känsla av stolthet och positivitet samt skapar en nyfikenhet och vilja att lära sig mer och utveckla detta arbete framöver. Den fördjupade kunskap som detta projekt förväntas ge kommer att stärka projektets intressenter och öka deras konkurrenskraft.

4.3.4 Stärkt varumärket Skövde Energi

Hållbarhet är en central del i Skövde Energis DNA och en given hygienfaktor för hela energisektorn. Skövde Energi har gjort flera åtgärder för att minska klimatavtrycket i det lokala energisystemet och starkt bidragit till kommunens hållbarhetsarbete. Denna förstudie är en viktig del i hållbarhetsarbetet och den visar att Skövde Energi, som samhällsaktör, tar sitt ansvar för att påskynda klimatarbetet och rena atmosfären på koldioxid. Projektet visar även att Skövde Energi är en del av lösningen på klimatutmaningen för ett klimatpositivt Skövde Energi år 2030 och Sverige år 2045.

4.3.5 Ökad förståelse och kunskap om Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme

Den direkta återkopplingen vid möten och dialog med målgrupper har varit positiv och väckt intresset kring förstudien ”Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS” och Skövde Energis omfattande klimat- och hållbarhetsarbete. Genom målgruppsanpassat presentationsmaterial, information, en väl genomförd marknadsanalys, utbildning och specifika lokala insatser har kunskapen om Bio-CCS, minusutsläpp och klimatpositiv fjärrvärme ökat.

Inga direkta indikationer har framkommit om att innehållet i detta inledande skede har varit otydligt eller svårt att förstå. Under genomförda dialoger och marknadsanalys har det ställts bra och initierade frågor, vilket givit förtroende i underliggande projektkommunikation.

4.3.6 Inspirerat lokala företag till att ta klimatpositiva initiativ

Fjärrvärmens avlastar elnätet vilket möjliggör industrins elektrifiering och klimatomställning. Genom klimatpositiv fjärrvärme kan fastigheter och produkter sedan bli klimatpositiva. Det skapar i sin tur mervärde för kunder och hyresgäster.

Genom kundkommunikation om projektet, Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme under Skövde Energis kundmöten, kundfrukostar, möten med industrirepresentanter, öppet hus och lokala evenemang har andra företag inspirerats till att ta, eller planera för, klimatpositiva initiativ.

4.3.7 Lokal marknadsanalys klimatpositiv fjärrvärme

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

Den fördjupade kunskap som detta projekt förväntas ge kommer att stärka projektets intressenter och öka deras respektive konkurrenskraft.

4.3.7.1 Tillvägagångssätt och respondenter

Genom ett digitalt frågeformulär ställdes tre frågor till Skövde Energis privatkunder och företagskunder med möjlighet att lämna en kommentar. Som morot för att delta i marknadsundersökningen fanns möjlighet att delta i utlottningen av en Ipad. Fråga 1 och 2 var samma i formuläret, endast fråga 3 skilde mellan kundgrupperna.

Frågeformulär

1. Känner du till att Skövde Energi utreder möjligheten att fånga in koldioxid för att städa atmosfären från koldioxid?
a. Ja b. Nej c. Ingen åsikt
2. Vad tycker du om det?
a. Bra b. Dåligt c. Ingen åsikt d. Förstår ej vad det innebär
3. Är du som privatperson intresserad av klimatpositiv fjärrvärme? / 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
4. Kommentarer

Formuläret skickades från Skövde Energi via e-post (Lime) till 753 kunder (privat- och företagskunder) samt med post till 280 företagskunder där e-post saknades. En påminnelse gick ut via e-post. Information om marknadsanalysen lades även ut som nyhet på skovdeenergi.se samt som en notis till medarbetare på Skövde Energis intranät vid eventuella frågor.

Formuläret innehöll även information om Bio-CCS, minusutsläpp och Skövde Energis mål om att bli klimatpositiva år 2030 och formulärets utformning ses i Figur 18.

LOKAL MARKNADSANALYS OM KLIMATPOSITIV FJÄRRVÄRME

Sverige har som mål att bli klimatpositivt år 2045. Det innebär att Sverige först ska bli klimatneutrala för att sedan satsa på att fanga in och lagra koldioxid. Man kan säga att man städar atmosfären på koldioxid och på så sätt genererar minusutsläpp, vilket innebär klimatpositivt.

Som en del i detta förväntas regioner och kommuner behöva erbjuda lösningar för att sänka koldioxidutsläppen, till exempel möjligheten att fanga in och lagra koldioxid. Denna teknik kallas Bio-CCS, Bioenergy Carbon Capture and Storage. Det är en kompletterande åtgärd för att klara klimatutmaningen som världen står inför.

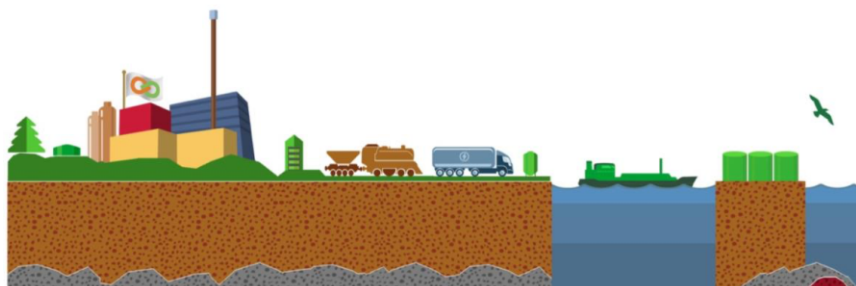


Illustration av Bio-CCS och koldioxidens väg från infångning i fjärrvärmeverket, förvätskning, transport och slutligen permanent lagring.

Klimatpositivt 2030

Skövde Energi har som mål att bli klimatpositivt år 2030. Nu utreder Skövde Energi möjligheterna för koldioxidinfångning för att bli klimatpositiva genom minusutsläpp. De minusutsläpp som Skövde 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 Skövde 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 och var med i utlottningen av en iPad. Denna marknadsanalys ska ge en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme hos Skövde Energis fjärrvärmekunder samt öka förståelsen för Bio-CCS och minusutsläpp.

Genom att hjälpa oss och svara på tre frågor (<1 min) kan du vara med i utlottningen av en iPad.

Senast 27 januari 2023 behöver vi ditt svar.

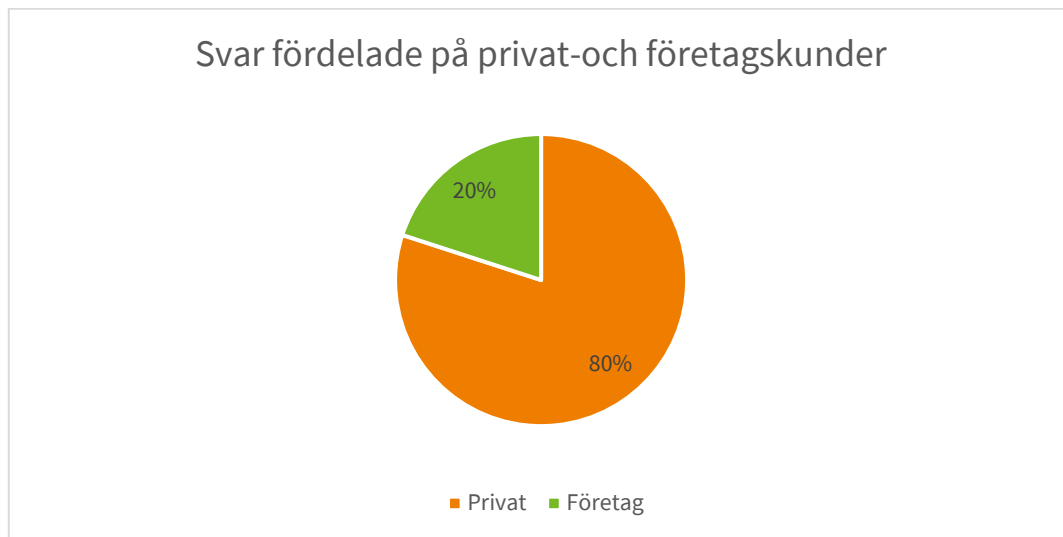
Du deltar genom [tänken skovdeenergi.se/marknadsanalys](https://tanken.skovdeenergi.se/marknadsanalys) eller scannar QR-koden på denna sida.



Figur 18 visar utskicket "Lokal marknadsanalys om klimatpositiv fjärrvärme" till Skövde Energis fjärrvärmekunder.

4.3.7.2 Resultat av Marknadsanalysen

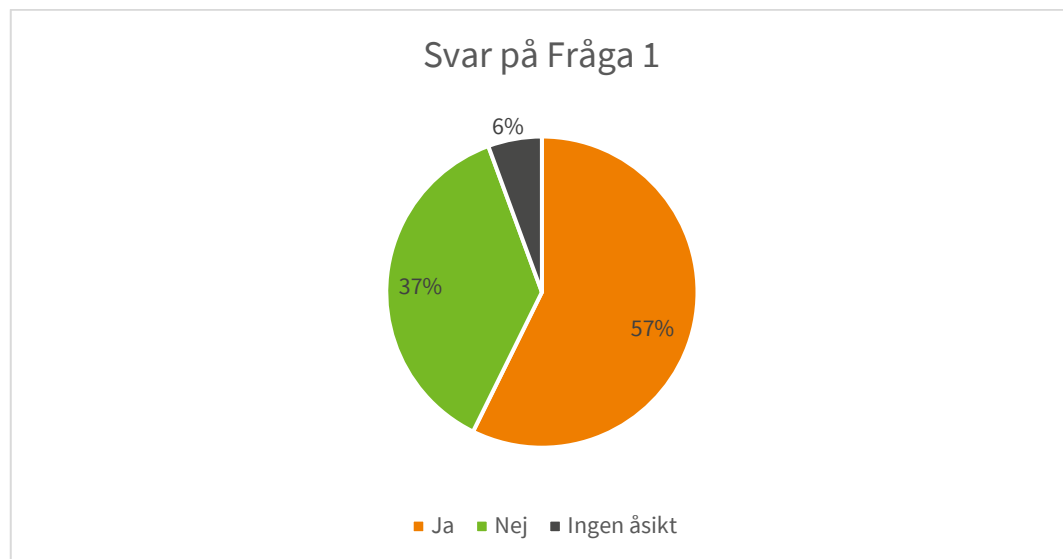
Frågeformuläret skickades till 1033 kunder, både privatpersoner och företag. Totalt svarade 155 varav 124 svar var från privatkunder och 31 svar var från företagskunder. Detta motsvarar en svarsfrekvens på 15 %.



Figur 19 visar tårtdiagram på svar fördelade mellan privat- och företagskunder.

4.3.7.2.1 Marknadsanalysresultat för privatkunder

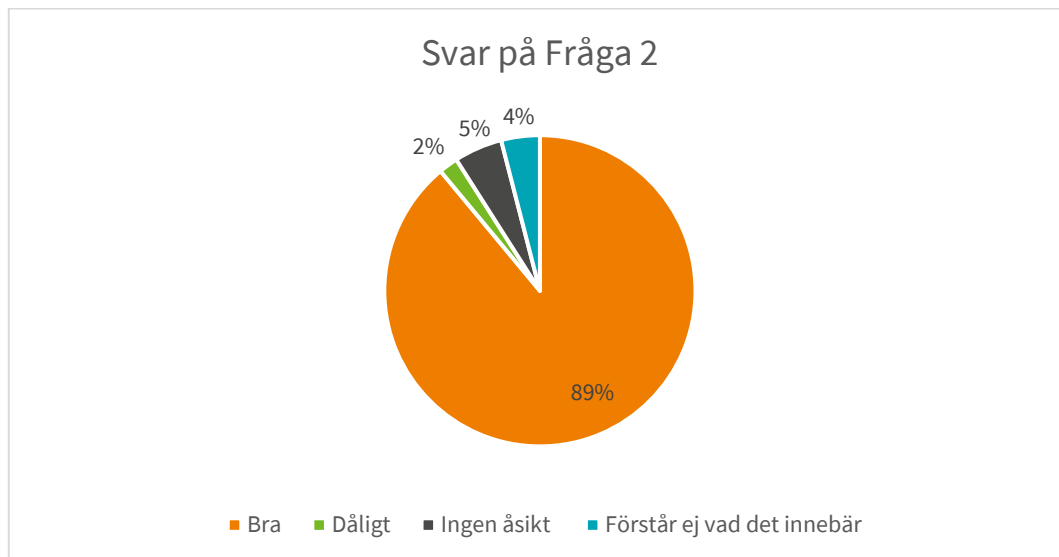
I Figur 22 ses svarsfördelningen på Fråga 1 om du som privatkund känner till att Skövde Energi utreder möjligheten att fånga in koldioxid för att städa atmosfären.



Figur 20 visar svarsfördelningen på fråga 1

Av 124 svar var det 57 % som kände till att Skövde Energi utreder möjligheten för Bio-CCS, 37 % kände inte till det och 6 % hade ingen åsikt.

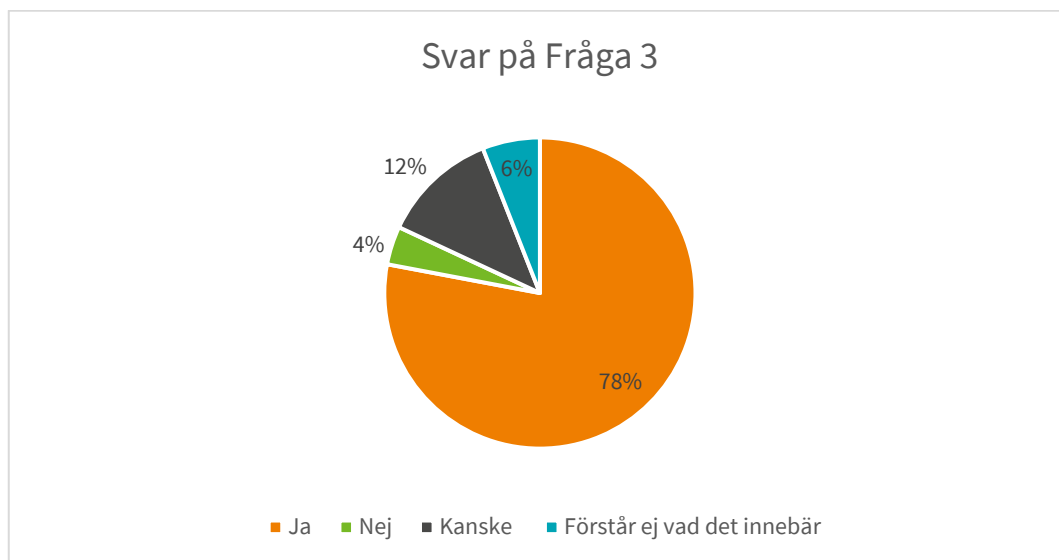
I Figur 24 ses svaren på fråga 2, vad kunder tycker om att Skövde Energi utreder möjligheten till Bio-CCS och minusutsläpp.



Figur 21 visar svarsfördelning på fråga 2

Av 124 svar var det 89 % som tycker att det är bra att Skövde Energi utreder möjligheten för Bio-CCS och endast 2 % var negativa och tyckte att det var en dålig idé.

I Figur 25 ses svarfördelningen på fråga 3 om du som privatkund är intresserad av klimatpositiv fjärrvärme.



Figur 22 visar svarsfördelningen på fråga 3

På fråga 3 är 78 % av 124 svar från privatkunder intresserade av klimatpositiv fjärrvärme.

I Bilaga 7, Marknadsanalysresultat ses alla kommentarer från marknadsanalysen. Fem kommentarer har valts ut som representerar övriga svar:

- Mycket bra initiativ!
- Vi måste vara rädda om vår jord. Redan nu syns ju mycket förändringar i miljön. Många miljökatastrofer händer allt oftare, så vi måste göra vad vi kan för att förhindra detta.
- Att värna om klimatet är viktigare än någonsin.
- Kämpa på 🇪🇺
- Viktigt att de olika investeringar som görs inte läggs på priset. Skövde behöver fortsätta leverera fjärrvärme till ett lågt pris och hamna bland landets topp 10 kommuner om att ha lågt pris. Detta är viktigt för fortsatt attraktivitet liksom att kommunen håller vid detta till de som redan är anslutna.

Att Skövde Energi tagit initiativet ses som positivt och flera kommentarer berömmar initiativet och hejar på Skövde Energi. Flera kommentarer avser klimatutmaningen och vikten av att göra rätt för klimatet. Flera kommentarer uttrycker en oro för hur klimatpositiv fjärrvärme skulle påverka priset på fjärrvärme.

4.3.7.2 Kommentar från en privatkund

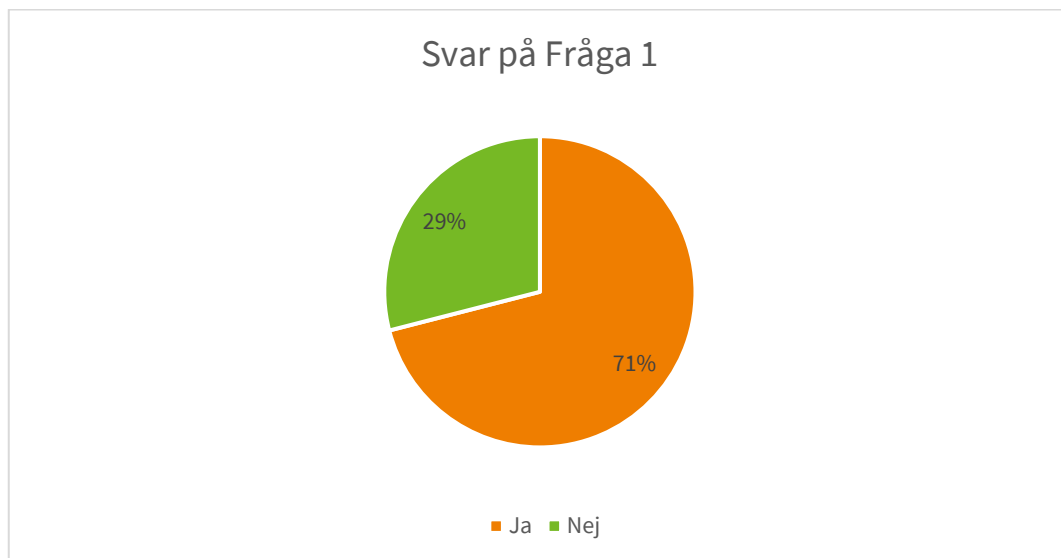
En privatperson som deltog i marknadsundersökningen blev vinnaren i utlottningen av en Ipad. Projektgruppen passade då på att ställa tre frågor till den lyckliga vinnaren.

- Hur avgörande tror du att det kommer bli i framtiden att företag går före och erbjuder den här typen av produkter och tjänster?
Om företag går ut och erbjuder tjänster och produkter är det ett steg till att göra det känt för framtida kunder, alltså en slags marknadsföring och det ser jag som positivt, för då får man samtidigt upplysningar och information om satsningen och vad det är.
- Varför är det viktigt att Skövde Energi utreder den här typen av satsningar/teknik?
För det första är det intressant om det är ekonomiskt genomförbart för privatkunder. För det andra behöver vi hitta alternativa gångbara och hållbara energikällor.
- Vad skulle vi kunna göra mer för att sprida information och kunskap om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme?
Information/reklam på stadsbussarna, artiklar i tidningen, radion, öppet hus där ni också informerar om satsningar.

Vinnarens kommentarer återspeglar de allmänna kommentarerna och projektgruppen skall överväga reklam på stadsbussarna i nästa projektfas.

4.3.7.3 Marknadsanalysresultat för företagskunder

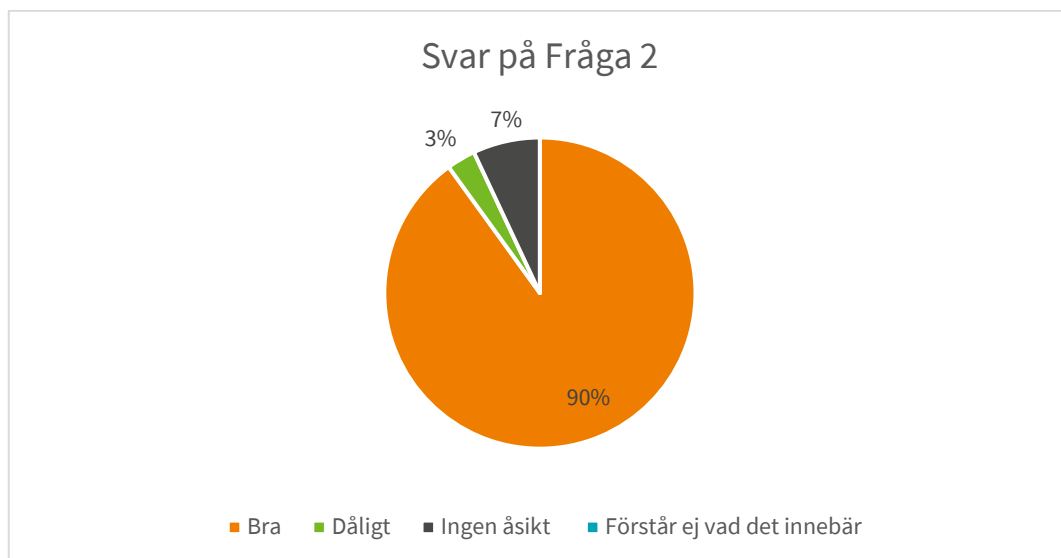
I Figur 26 ses svarsfördelningen på Fråga 1 om du som företagskund känner till att Skövde Energi utreder möjligheten att fånga in koldioxid för att städa atmosfären.



Figur 23 visar svarsfördelningen på fråga 1

Av 31 svar var det 71 % företagskunder som kände till att Skövde Energi utreder möjligheten för Bio-CCS, 29 %.

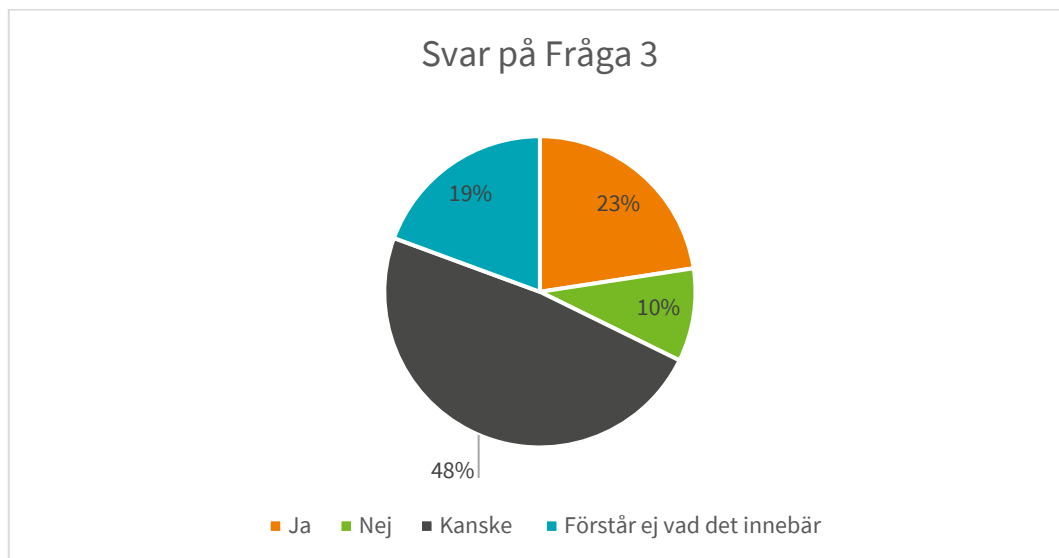
I Figur 27 ses svaren på fråga 2, vad kunder tycker om att Skövde Energi utreder möjligheten till Bio-CCS och minusutsläpp.



Figur 24 visar svarsfördelning på fråga 2

Av 31 svar var det 90 % som tycker att det är bra att Skövde Energi utreder möjligheten för Bio-CCS och endast 3 % var negativa och tyckte att det var en dålig idé.

I Figur 28 ses svar på fråga 3, om 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?



Figur 25 visar svarsfördelningen på fråga 3

AV 31 svar är 23 % av företagskunderna intresserade av att köpa kolkrediter och klimatpositiv fjärrvärme, 48 % svarar kanske, 19 % förstår inte vad det innebär och 10 % svarar nej.

I Bilaga 7, Marknadsanalysresultat ses alla kommentarer från marknadsanalysen. Sex kommentarer har valts ut som representerar övriga svar:

- Självklart ska vi vara med och bidra i denna resa!
- Beror på vad som händer i framtiden.
- Allt beror på om det kan öka vår konkurrenskraft eller inte.
- Vår brf önskar bidra till en klimatsmart omställning.
- Fastighetsbolaget arbetar mycket aktivt med hållbarhet och har antagit en färdplan mot att bli klimatneutrala. Att våra fjärrvärmeleverantörer tittar på möjligheterna med Bio-CCS ser vi som oerhört positivt.
- Man behöver mer information vad detta ger för alla.

Att Skövde Energi tagit Bio-CCS-initiativet ses som positivt och flera företag vill bidra till Skövde Energis resa. Flera kommentarer avser klimatutmaningen och vikten av att bidra till att lösa den. Flera kommentarer påpekar en oviss framtid och att mer information behövs.

4.3.8 Diskussion AP3

Genom intressentdialoger och en väl genomförd marknadsanalys har arbetet med att informera och visa Skövde Energis intressenter värdet av Bio-CCS genomförts. Arbetet har skapat en nyfikenhet och en vilja att utveckla det klimatpositiva arbetet framåt.

Flera medarbetare från olika avdelningar på Skövde Energi har genom projektarbetet utvecklats och axlar nu rollen som ambassadörer för ett klimatpositivt Skövde Energi. Bland annat har examensarbetare tagits in inom Bio-CCS-teknik. Projektarbetet har berört och engagerat flera

medarbetare internt trots en oerhört föränderlig omvärld under projekttiden med bland annat en energikris till följd av invasionen av Ukraina.

Projektgruppen bedömer att Skövde Energis Bio-CCS-projekt stärkt varumärket. Att tydligt visa på ett aktivt klimatarbete som utöver klimatneutralitet även tar ännu ett steg genom att rena atmosfären på koldioxid är positivt och viktigt. Genom intressentdialoger har en ökad förståelse också fåtts för Sverige och EU:s mål om klimatpositivt och Skövde som en aktiv del i klimatarbetet.

Andra företag med pågående Bio-CCS-projekt i Sverige och Norge har visat ett tydligt intresse för Skövde Energis förstudie och kommande planer. Inom regionen genomförs liknande förstudier, vilket öppnat upp för ett gemensamt arbete framåt. Diskussioner har till exempel förts med Vänerenergi och Katrinefors kraftvärme med vilka projektresultaten jämförts. Bland annat gjordes motsvarande marknadsundersökning för Bio-CCS i Mariestad.

En stor andel av respondenterna i den genomförda lokala marknadsanalysen kände till att Skövde Energis Bio-CCS-förstudie genomförs, vilket projektgruppen tolkar som en signal på att kommunikationen har nått den högt prioriterade målgruppen fjärrvärmekunder. Av privatkunderna var det 57 % som känner till att Skövde Energi utreder Bio-CCS i en förstudie, motsvarande siffra var 71 % av företagskunderna. Merparten av kunderna, 89 % av privatkunderna och 90 % av företagskunderna, tycker att det är positivt att Skövde Energi utreder Bio-CCS.

Projektgruppens bedömning är att kunder över lag är positiva till initiativet och det är väldigt intressant att 78 % av privata fjärrvärmekunderna är intresserade av att köpa klimatpositiv fjärrvärme. Det visar på en klimatmedvetenhet bland kunderna som värderar klimatfrågan högt. Dock är projektgruppens bedömning att företagskunderna är mer försiktiga. Det övervägande svaret på frågan om *ditt företag skulle vara intresserad av att köpa minusutsläpp (krediter) för att nyttja till produkter och tjänster och därmed kunna erbjuda klimatpositiva produkter, ett klimatpositivt boende eller tjänster?* var kanske med 48 %. Endast 23 % av företagskunderna svarade ja och har en vilja att köpa kolkrediter. Projektgruppen resonerar att företagen och föreningarnas osäkerhet kring kolkrediter är kopplade till deras ekonomi och deras affär. Det är viktigt att en Bio-CCS-anläggning bär sina egna totalkostnader med bidragsstöd, frivilligmarknad för minusutsläpp samt att ett motsvarande EU ETS-system, handel med utsläpp, fås för minusutsläpp. Det kan dock tilläggas att flera företag vill faktiskt redan nu vara med och stötta denna utveckling med minusutsläpp.

Marknadsanalysen resulterade i positiva och stöttande kommentarer och projektgruppen bedömer att marknadsanalysen har fungerat som en bra och viktig kanal för en ökad förståelse för Bio-CCS och klimatpositiv fjärrvärme och den har givit inspiration till fler klimatpositiva initiativ.

Möjliga samarbeten och dialoger med andra aktörer och partners har initierats. Att inleda ett direkt partnerskap redan under förstudien bedömdes som för tidigt. Genom förstudien har projektgruppen däremot skapat en gemensam utgångspunkt och tillräcklig kunskap för att i nästa steg ta detta vidare. Detta arbete kommer således utvecklas och fortsätta i kommande faser. Ett tidigt samarbete med industrikunder är viktigt för trovärdighet och tyngd framöver.

Skövde och Skaraborg 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 pedagogiskt och 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 ska nå målet om noll nettoutsläpp av växthusgaser 2045. Detta Bio-CCS-projekt har inspirerat till klimatpositiva initiativ bland exempelvis fastighetsägare och storföretag. Med detta kommunikationsarbete har också projektgruppen en förhoppning att detta arbete leder till en känsla av stolthet och positivitet. Bio-CCS, klimatpositiv fjärrvärme och lokala klimatpositiva initiativ behövs för att nå ett klimatpositivt Sverige 2045.

4.3.9 Rekommendation för framtida kommunikationsarbete

Den interna kommunikationen på Skövde Energi bör fortsätta som ett löpande arbete för att skapa acceptans bland alla medarbetare och för att bygga vidare på det kommunikationsarbete som genomförts. Intranätet är en viktig kanal och berörda chefer bör informera löpande ”linjevägen” för möjlighet till dialog och frågor. Samtliga medarbetare skall känna sig som ambassadörer för eventuell Bio-CCS på Skövde Energi.

I kommande faser bör arbetet med kunddialoger utökas för att stärka kommunikationen med fjärrvärmekunder, främst företagskunder som fastighetsbolag, bostadsrättsföreningar och andra industrikunder. Genom dialog kan Skövde Energi utreda de specifika förutsättningarna för att skapa en affär för Bio-CCS och utvärdera intresset och efterfrågan av minusutsläpp samt utforska betalningsviljan hos Skövde Energis kundbas. Dessa målgrupper behöver även ytterligare information om vad klimatpositiv fjärrvärme betyder för deras verksamhet och konkurrenskraft.

Skövde Energi bör utreda vidare huruvida marknadsanalysens respondenter är representativa för hela kundsegmentet. En risk i kundundersökningar, särskilt med så här litet urval, är dock att undersökningen träffar de respondenter som redan är aktiva i arbetet med klimatfrågan, och är positiva och klara i sina ställningstaganden och behov. Projektgruppen rekommenderar vidare arbete med identifierade frågeställningar genom fortsatta kunddialoger och intervjuer med nyckelkunder.

Arbetet framöver kan lämpligen kopplas till det regionala omfattande klimatarbete som pågår och kroka arm för att nyttja det momentum som finns i klimatdebatten i regionen. Skövde Energi har på så vis möjlighet att stödja potentiella partners i regionen med kunskap, stärka deras kommunikation och på så sätt även stödja deras klimatresa. Projektgruppen bedömer det är viktigt att även fokusera på företagskunder då de kan ge störst klimateffekt, men även lokala politiker bör involveras i arbetet.

4.4 AP4 Logistik & Transport

I detta delprojekt har Skövde Energis förutsättningar gällande logistik och lagring av koldioxid utretts med hänseende till de volymscenarios som fastställts i delprojekt Teknik. I delprojektet skall möjliga lösningar för mellanlagring, transport och permanent lagring med tillhörande kostnadsuppskattningar presenteras. Detta i syfte att Skövde Energi vidare skall kunna utreda hur de på bästa sätt kan närma sig målet om en fullskalig Bio-CCS-anläggning.

4.4.1 Logistikkedjan

Logistikkedjan för att transportera koldioxid från avskiljningsplatsen till permanent lagring kan förenklat beskrivas enligt Figur 29. Respektive processteg är beskrivet i kommande kapitel.



Figur 26 visar logistikkedjan för koldioxid

4.4.2 Mellanlager

Efter avskiljning och förvätskning behöver koldioxiden mellanlagras i väntan på transport. Under mellanlagringen avdunstar sakta koldioxiden vilken innebär att en funktion för att fånga upp och föra tillbaka den avdunstade gasen till förvätskningsanläggningen är nödvändig. Av den anledningen är det en fördel om mellanlagringen ligger nära avskiljningsanläggningen. Ett mellanlager placerat på annan ort kommer att behöva en egen förvätskningsanläggning för att minimera förluster.

Storleken på mellanlagringen är beroende av mängden koldioxid som avskiljs och vald transportlösning. Dimensioneringen skall ske utifrån maximal avskiljningsgrad för att säkerställa att lagringskapaciteten är tillräcklig årets alla dagar. En riskanalys bör också genomföras för att säkerställa kapaciteten samt säkerheten ifall transporter inte kan genomföras som planerat.

Det finns flertalet varianter av tankar för lagring av koldioxid. Funktionen är likvärdig men de olika varianterna skiljer sig i utseende och potentiell kapacitet. För lagring av koldioxidvolym över 100 m³ är sfäriska tankar att föredra då dessa enskilt kan hålla större volymer, medan cylindriska tankar är bättre lämpade för mindre lager. Cylinderformade tankar kan placeras stående såväl som liggande.



Figur 27 Till vänster ses exempel på cylindriska tankar för flytande koldioxid. Den högra bilden visar exempel på sfäriska tankar.

4.4.3 Lastbil

Vägtransporter av koldioxid med lastbil är idag vanligt förekommande inom dryckesindustrin. Lastbilarna kan hantera upp emot 33 m³ flytande koldioxid och lämpar sig för kortare transporter mellan exempelvis en avskiljningsanläggning och ett mellanlager där lastbilen kan gå i skytteltrafik.



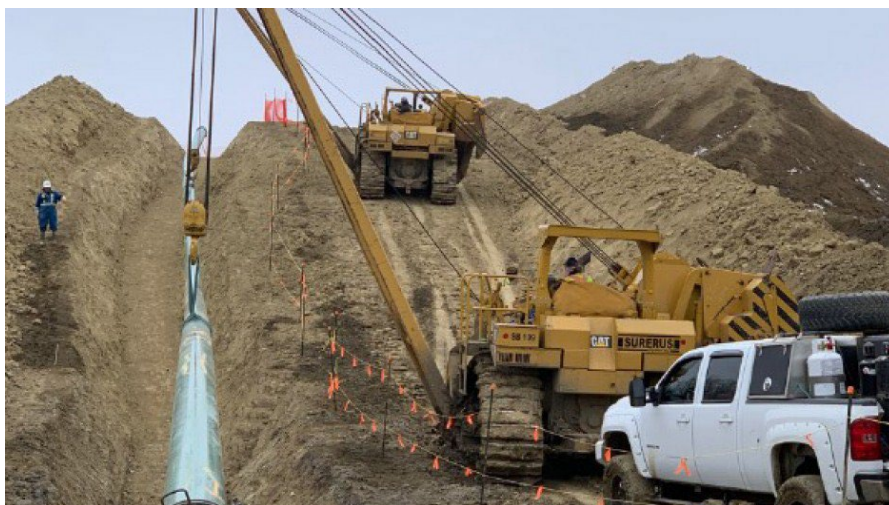
Figur 28 visar påfyllning av koldioxid i lastbil från ACP

Lastbilar drivs idag vanligtvis av diesel men en elektrifiering av lastbilsflottan pågår för att göra vägtransporter till ett mer miljövänligt alternativ. Då koldioxid är klassat som farligt gods omfattas lastbilstransporter av tunnelrestriktioner och färdvägen behöver anpassas därefter.

4.4.4 Rörledning

Transport av koldioxid via rörledning är ett beprövat koncept och kan vara kostnadseffektivt vid större volymer då investeringskostnaden är hög i jämförelse med tåg och lastbil. Transport av koldioxid i rörledning kan ske i antingen flytande, gasform eller superkritisk fas. För en stabil och säker drift är det, oavsett i vilken fas koldioxiden transporteras, absolut nödvändigt att förhindra fasförändringar i rörledningarna då detta annars kan orsaka exempelvis tryckstötter och korrosion.

Transport i vätskefas används i allmänhet endast för korta sträckor (<1 km). Detta eftersom de åtgärder som krävs för att förhindra fasförändringar i rörledningen är omfattande (isoleringskrav, krav på tryckfall etc.) Gastransport är lämplig för medellånga avstånd (vanligtvis 5-15 km) och superkritisk transport används i allmänhet endast för större avstånd (>50 km).



Figur 29 visar konstruktion av rörledning för flytande koldioxid utanför Alberta i Kanada

En ytterligare utmaning med rörledningstransporter är tillstånd, särskilt när det gäller ruttplanering (olika markägare, närhet till kommungränser etc.). Rörledningar längre än 20 km är dessutom koncessionspliktiga.

4.4.5 Tåg

Sverige har ett väl utbyggt järnvägsnät och aktörer så som exempelvis Green Cargo och Hector rail har erfarenhet av att transportera koldioxid i mindre skala. Den snabba utvecklingen av CCS har lett till att järnvägsoperatörerna arbetar aktivt med att förbereda sig på en förväntad efterfrågan av koldioxidtransporter.

Det finns idag flera tillverkare av vagnar för koldioxidtransporter i Europa. Då leveranstiderna kan uppgå till flera år och efterfrågan på vagnar beräknas bli hög behöver vagnar beställas i ett tidigt skede. Järnvägsoperatörer är därför intresserade av att redan nu teckna intentionsavtal med utsläppare.



Figur 30 visar en vagn typ G66.081D från VTG avsedd för transport av kemiska gaser.

Koldioxidtransport kan ske i vagnar som ägs av en tågoperatör alternativt i vagnar ägda av utsläpparen. I det senare fallet blir kostnaden per vagnslast lägre, men investerings- och underhållskostnader för vagnar tillkommer.

Järnvägsvagnarna är anpassade för ett tryck på ca 15 bar och en temperatur på ca -25 °C. Detta är viktigt att ta i beaktande då specifikationerna skiljer sig mellan olika aktörer för lagring och sjötransporter. Den vanligast förekommande volymen per vagn uppgår till 63 m³ men större vagnar finns.

4.4.6 Hamn

Flertalet hamnar i Sverige undersöker just nu möjligheten att etablera sig som ett nav för koldioxidtransporter till havs. En rundringning gjord inom ramen för denna förstudie visar att Umeå Hamn, Gävle Hamn, Stockholm Norviks Hamn, Göteborgs Hamn och Luleå Hamn arbetar aktivt med att utreda möjligheter och potential för koldioxidtransporter.

Göteborgs Hamn har, med projektet CinfraCap, kommit längst och beräknar kunna starta verksamheten redan år 2026 med en kapacitet på 4 000 000 ton CO₂ årligen. CinfraCap är ett samarbetsprojekt mellan Nordion Energi, Göteborg Energi, Renova, Göteborgs Hamn, Preem och ST1⁵³.



Figur 31 visar konceptbild visande en potentiell koldioxidhamn i Göteborg. Bild: CinfraCap.

Stockholm Norviks Hamn har tillsammans med Stockholm Exergi, Mälarenergi, Söderenergi, Vattenfall, Heidelberg Materials, Nordkalk och Plagazi ansökt om stöd från Energimyndighetens Industriklivet för en förstudie med mål om att arbeta fram ett förslag på systemlösning⁵⁴.

⁵³ [Large-scale CO2 hub in the Port of Gothenburg](#) samt Christoffer Lillhage, Göteborgs Hamn.

⁵⁴ [Stockholm Norvik Hamn möjligt CCS-nav och viktig pusselbit för att nå nationella klimatmål - stockholmshamn.se](#)



Figur 32 visar en översiktsbild av Stockholm Norvik. Bild: Stockholm Hamnar.

Vid val av utskeppningshamn för koldioxiden behöver storleken på de tänkta fartygen tas i beaktande. En sådan viktig aspekt är fartygens djupgående. Större fartyg med en kapacitet på över ca 20 000 m³ kräver ett hamndjup på minst 10 m. Av de kartlagda hamnarna har majoriteten ett sådant djup, eller planerar arbeten för att inom kort öka sitt djup. De allra största planerade fartygen kräver ett djup på 13 m vilket i dagsläget bara Göteborg, Luleå och Stockholm Norvik klarar. I Tabell 20 ses en sammanställning av nuvarande samt planerade djup i respektive hamn.

Tabell 18 visar nuvarande samt planerat djup angett i meter för respektive hamn

Hamn	Djup	Planerat djup
Göteborgs Hamn	13,5	17,5
Stockholm Norvik	16,5	
Umeå Hamn	9,2	11
Luleå Hamn	15	
Gävle Hamn	8,6	9

Stockholm Norviks hamn har högst hamndjup idag med 16,5 m. Dock planeras ett hamndjup i Göteborgs Hamn på 17,5 m.

4.4.7 Fartyg

Då majoriteten av alla lagringsplatser i norra Europa ligger ute till havs kommer fartyg att spela en nödvändig roll i logistikkedjan. Dock kan fartyg och pråmar även användas för kortare transporter på floder och sjöar vilket kan erbjuda ett kostnadseffektivt alternativ beroende på placering i landet.

Då behovet av renodlade koldioxidtransporter till havs är helt nytt så finns det sedan tidigare inga fartyg byggda för detta. Därför sker en snabb och omfattande utveckling av fartygstransporter för koldioxid.

I juni år 2022 var 14 fartyg⁵⁵ globalt beställda och under uppförande. De nya fartygen är kostsamma, men beräknas ha en livslängd på minst 25 år. Leveranstiden för ett nytt fartyg från beställning uppskattas till mellan 3 och 4 år.

Northern Light var tidigt ute och lade redan i oktober år 2021 en beställning på två fartyg med en kapacitet på 7500 m³ vardera. Fartygen är beställda av Dalian Shipbuilding Industries och beräknas att levereras under kvartal 2 år 2024. Fartygen kommer att drivas av LNG och kompletteras med vindkraft för att minska bränsleåtgången.



Figur 33 visar konceptbild av fartyg med kapacitet på 7500 m³. (Foto: Wärtsilä & Northern Lights)

Northern Lights har även tagit fram ytterligare design på fartyg med en kapacitet på 12 000 m³. Fartygen kommer att vara designade för ett tryck på 15 bar och en temperatur på -25 °C vilket är standarden inom livsmedelsindustrin. Någon slutgiltig standard finns dock ännu inte framtagen och Northern Lights⁵⁶ kan i framtiden komma att ändra sina specifikationer till 7 bar och -55 °C då detta möjliggör kostnadseffektiva transporter av större volymer.

Horisont Energy har tagit fram en design på ett kombinationsfartyg som kan transportera både flytande koldioxid och ammoniak. Tanken är att transportera blå ammoniak till exempelvis Rotterdam och andra hamnar runt i Europa. Därefter lastas fartygen med koldioxid som transporteras till Hammerfest för permanent lagring. Fartyget har en kapacitet på 18 000 m³ och är designat för lågt tryck (7 bar, -55 °C).

⁵⁵ Intervju med Martin Rödén mars 2020, Captimse

⁵⁶ Intervju med Elise Rock januari år 2020



Figur 34 visar konceptbild över ett kombinationsfartyg. (Foto: Exmar)

Carbfix samarbetar med den danska fartygsägaren DanUnity CO2. De har tagit fram design på tre fartygstyper med kapacitet på respektive 12 500, 22 000 och 40 000 m³. Fartygen byggs för lågt tryck (7 bar, -55 °C). Även företaget Storegga designar egna fartyg i samarbete med Cape-Omega, Knutsen och NYK.

Altera Infrastructure (Stella Maris) har lång erfarenhet av rederiverksamhet och vill investera i större fartyg med kapacitet upp till 50 000 m³. De har även tagit fram ett koncept med flytande terminaler för behandling av koldioxiden. Terminalerna är tänkta att kunna placeras i hamnar och flyttas vid behov.

Exemplen ovan visar på lagringsaktörer som planerar att äga en egen flotta med fartyg och erbjuda fartygstransporterna som en del av ett paketerbjudande tillsammans med slutlagringen. Intresset för transporter av koldioxid är dock stort även för renodlade rederier vilket kommer att möjliggöra för utsläppare att konkurrensutsätta fartygstransporterna och teckna egna avtal direkt med rederierna. Avtalen kan då se ut på två olika sätt, Contract of Affreightment (CoA) eller Time Charter (TC).

Vid CoA avtalar parterna om ett bestämt schema med månadsvisa transporter och volymer där skeppsägaren ansvarar för försäkringar, fartyget med dess besättning och 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.

4.4.8 Lagringsplatser

Norden och framför allt Nordsjön har konstaterats ha goda förutsättningar för permanent lagring av koldioxid. De 18 bäst lämpade lagringsplatserna i Norden har tillsammans en teoretisk lagringskapacitet över 86 Gton. Detta motsvarar över 500 års utsläpp av koldioxid inom den nordiska

regionen⁵⁷. Flertalet aktörer har därför utrett möjligheterna för storskalig koldioxidlagring i Nordsjön, Barents hav samt i områdena kring Island och de brittiska öarna.

Ett flertal lagringsprojekt är redan pågående och ansökningar har skickats in om ytterligare tillstånd. Utöver lagring i Nordsjön finns på flera platser även potential att lagra på land. Exempelvis i Danmark och på Island. I Sverige utreder Statens Geologiska Undersökning (SGU) potentialen till koldioxidlagring i Östersjön. Andra tidigare undersökningar visar också på att havsbotten utanför de baltiska staterna bör ha goda förutsättningar för permanent lagring av koldioxid, dock har inga djupgående utredningar genomförts ännu.

I Nordamerika samt central- och östeuropa har ett antal nedlagda olje- och gasfält på land bedömts lämpliga för permanent lagring och i USA är idag en handfull pilotprojekt i drift med potentiella volymer på mellan 0-7 miljoner ton årligen vardera⁵⁸.



Figur 35 visar karta över aktiva samt potentiella lagringsplatser. (Källa: sccs.org.uk)

De vanligaste typerna av lagringsplatser är salina akvifärer, lagring i basalt-formationer samt i nedlagda olje- och gasfält. Samtliga lagringstyper bedöms ha god potential, men har sina respektive för- och nackdelar. 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. Vid olje- och gasfält är kunskapen och kännedomen om de geologiska förutsättningarna god vilket borgar för en hög säkerhet.

4.4.8.1 Lagringsaktörer

Idag finns det över 20 lagringsaktörer i norra Europa och projektgruppen har valt att beskriva och kontakta de som kommit längst i arbetet med permanent koldioxidlagring.

⁵⁷ Enligt sgu.se

⁵⁸ Enligt sccs.org.uk

4.4.8.1.1 Northern Lights

Northern Lights ägs av Shell, Equinor och TotalEnergies. Northern Lights levererar logistik- och lagringslösning till norska statens projekt Longship (Langskip). Longship ska bli ett av de första öppna infrastrukturprojekten för CCS i norra Europa med syfte att transportera och lagra koldioxid.

Northern Lights beräknas vara i drift med sin första fas år 2025. Den första fasen har en lagringspotential på 1,5 miljoner ton CO₂ årligen och när Northern Lights är i full drift uppskattas den totala lagringspotentialen till 5 miljoner ton CO₂ årligen. Primärt kommer Northern Lights tillhandahålla lagring åt de norska projekten inom Longship, men då kapaciteten överstiger de norska behoven kommer andra aktörer att kunna erbjudas lagringsmöjligheter.

Northern Lights består av flera fält ute i Nordsjön. Berggrunden består av sandsten.

4.4.8.1.2 Horisont Energy

Horisont Energy investerar i både permanent lagring av koldioxid och produktion av vätgas. De har i dagsläget en lagringsplats under uppbyggnad, Polaris, och har ansökt om licens från norska staten för ytterligare ett, Errai. Polaris beräknas vara i drift år 2026 och förhoppningen är att Errai ska kunna vara i drift till år 2029.

Horisont Energy beräknas ha en total lagringskapacitet på strax över 100 miljoner ton.

4.4.8.1.3 Project Greensand

Project Greensand är beläget nordväst om Danmark i Nordsjön och lagring kommer ske i nedlagda gas- och oljefält. Den 8 mars 2023 genomförde Project Greensand ett lyckat pilotförsök att injektera koldioxid.

I full skala beräknas Project Greensand kunna lagra upp till 1,5 miljoner ton CO₂ år 2026 och potentiellt 8 miljoner ton år 2030.

4.4.8.1.4 CarbonCuts

CarbonCuts är ett ungt danskt bolag som planerar att lagra koldioxid på land. I anslutning till Rødby i Danmark bedömer bolaget att de bör kunna lagra upp till 300 miljoner ton koldioxid totalt.

Lagring på land omfattas inte av Londonprotokollet vilket minskar de legala hindren för export av avfall. Rødby ligger i ett geografiskt bra läge med närhet till Norden såväl som kontinenten. De har även nära tillgång till hamn och tåganslutning.

I Danmark beräknas ansökan för lagringslicenser öppna i slutet av år 2023 eller början av år 2024 och CarbonCuts är redo att skicka in en ansökan.

4.4.8.1.5 Carbfix

Carbfix på Island utvecklar lagring av koldioxid i berggrund bestående av basalt. De har kunnat konstatera att basalt genom sin sammansättning av järn, kalcium och magnesium naturligt reagerar kemiskt med koldioxid och bildar solida karbonatmineraler.

Genom sin metod har de kunnat visa på att 95 % av koldioxiden mineraliseras inom två år vilket borgar för en trygg och hållbar metod för lagring. Processen är dock oerhört vattenkrävande och i tidiga försök har sötvatten använts. De senaste rapporterna tyder dock på att processen fungerar lika bra med havsvatten vilket är ett mer hållbart alternativ.

Totalt beräknas Carbfix kunna lagra 300 miljoner ton koldioxid och redan från år 2025 beräknas de kunna ta emot och lagra 0,3 miljoner ton.

4.4.8.1.6 Endurance

The Northern Endurance partnership (NEP) förfogar över ett antal olje- och gasfält utanför Storbritanniens östra kust. NEP är ett partnerskap mellan BP, Eni, Equinor, National Grid, Shell och Total Energies som har som mål att snabba på utvecklingen av lagrings- och transportinfrastruktur i Nordsjön. NEP har kapaciteten att lagra 540 miljoner ton koldioxid och med andra närliggande fält finns potential att öka lagringskapaciteten till närmare 1 miljard ton. NEP har tagit emot statligt stöd för investeringar genom UK Government's Industrial Decarbonization Challenge.

4.4.8.1.7 Storegga

Storegga driver flera projekt utanför Skottlands östkust där lagring planeras ske i nedlagda olje- och naturgasfält. Det mest kända projektet är Acorn vilket består av två delar. Dels transport och lagring av koldioxid samt dels produktion av blå vätgas. Acorn har en beräknad kapacitet på totalt 16 miljoner ton koldioxid via hamnen i Peterhead. Projektet består av flera faser där den första fasen pågår med att bygga den nödvändiga infrastrukturen för satsningen på vätgas. Fas 2, med en kapacitet på 5 miljoner ton lagring, är planerad att starta år 2026. Projektet kommer vara öppet för tredje-part, men prioritet är att erbjuda lagring åt Storeggas egna vätgassatsning. Storegga har utöver Acorn även ansökt om att få lagra koldioxid utanför Norges kust inom projektet Trudvang med planerad start år 2029.

Storegga erbjuder sina kunder ett fullservice-avtal som de kallar Storegga Integrated. Genom detta koncept kan de erbjuda en lösning för hela CCS-värdekedjan. Från avskiljning till lagring. Inom Storegga Integrated kommer lagringen av koldioxid kunna ske dels i Storeggas egna projekt med även hos andra lagringsaktörer genom samarbetsavtal.

4.4.8.1.8 Stella Maris (Altera Infrastructure)

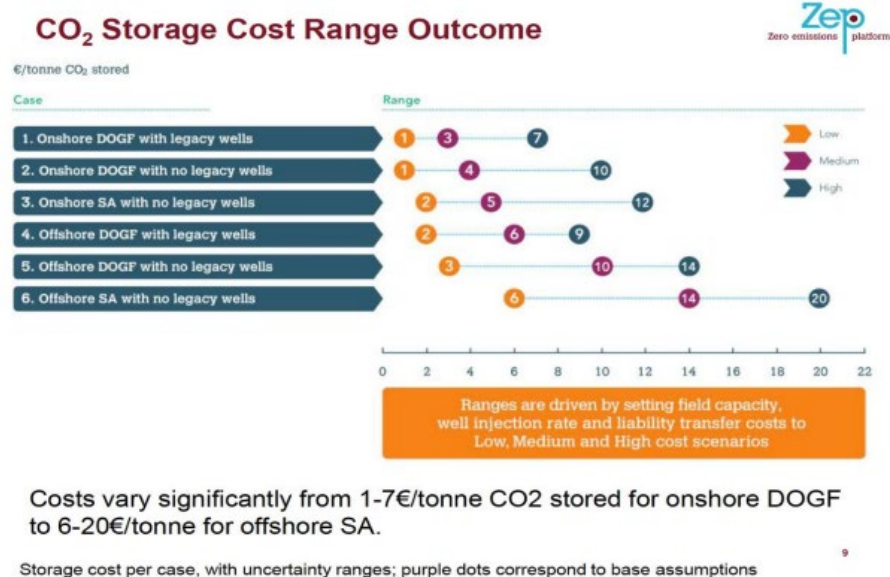
Stella Maris är en heltäckande logistisk lösning för lagring av koldioxid. Genom egna innovationer och samarbetspartners strävar Stella Maris efter att kunna stå för hela CCS-kedjan, från avskiljning till permanent lagring.

Genom egna koldioxidhubbar, fartyg och flytande injektionsenheter kommer ett enda Stella Maris-projekt ha kapacitet att lagra 10 miljoner ton CO₂ årligen⁵⁹.

4.4.9 Kostnadsanalys för permanent lagring

Prissättningen för permanent lagring är fortfarande under utveckling. Lagringsplatserna är i en utvecklingsfas och de vet ännu inte vad deras totalkostnad kommer att bli, men prissättningen kommer att bli tydligare för många aktörer under de kommande åren. Förstudien har genom egna efterforskningar kommit fram till att ett troligt prisintervall mellan 10-20 EUR per ton CO₂ även om exempelvis Zero Emissions Platform uppskattar prisintervallet på mellan 1-20 EUR per ton CO₂ beroende på typ av lagringsplats samt om lagringen sker onshore eller offshore, se Figur 39.

⁵⁹ Källa: alterainfra.com



Figur 36 visar kostnadsuppskattningar för lagringalternativ. (Källa: Zero Emissions Platform)

I denna studie antas priset för lagring till 20 EUR per ton CO₂ för att säkerställa en viss marginal.

Den slutliga prissättningen kommer dock vara individuell och förhandlas mellan parterna. Då flera aktörer dessutom börjar erbjuda en paketslösning för hela logistikkedjan kommer även detta att påverka prissättningen.

4.4.10 Säkerhetsaspekter och risker

Koldioxid är en färg- och luktlös gas. Den är inte brandfarlig och räknas heller inte som giftig. Däremot förekommer kvävningrisk beroende av koncentrationen och omgivande förhållanden så som exempelvis lufttemperatur och vindförhållanden.

Vid inandning av luft med en koldioxidhalt på 2 % börjar människan uppleva mindre andningspåverkan. Vid 4 % ökar andningsfrekvensen och andningen kan börja upplevas tung. Med en koncentration på 5 % börjar den utsatte att uppleva yrsel, huvudvärk, förhöjd puls samt förhöjt blodtryck. Överstiger koncentrationen 10 % påverkas synen och skakningar samt svettningar infaller. Efter ett par minuter riskerar den utsatta personen att falla i medvetslöshet. Generellt bedöms koncentrationer på över 7 % kunna orsaka bestående men eller i värsta fall död på grund av kvävning.

Vid atmosfäriskt tryck och en omgivande temperatur på 20 °C har koldioxiden en densitet på 1,8 kg/m³ vilket är ca 1,5 gånger tyngre än luft. Ett större läckage riskerar att bilda ett lågt liggande moln av koldioxid, ca 1-2 m över marken, och sprida ut sig över ett större område.

Den flytande koldioxiden kommer mellanlagras och transporteras i ca 7 till 15 bars tryck och temperaturer på -25 till -55 °C. Vid ett läckage kommer trycket orsaka en stråle eller spray som, vid den hastiga förändringen i tryck och temperatur, kan bilda torris runt läckaget. Detta kan vara det första varningstecknet på ett läckage. För god säkerhet är det viktigt att installera sensorer och larmsystem som snabbt kan varna omgivningen vid ett läckage.

Vid en mycket stor läcka kommer ca 50 % av den flytande koldioxiden omedelbart att förångas

och resterande 50 % kommer att spridas som mycket små ispartiklar från behållaren. Partiklarna kommer att sublimera till gas och det tunga gasmolnet kommer att strömma nedåt och med vinden. Det är viktigt att flödet leds bort från människor och helst ned till exempelvis en vattenyta. Den potentiella flödesriktningen bör muras in med barriärer.

När den kalla gasen möter den omgivande luften bildas kondens som orsakar ett vitt synligt moln. Molnet kommer att förbli lågt och sprida ut sig med vinden över ett stort område ca 1-2 m från mark. I exempelvis en hamn kommer kommersiella fartyg med reling flera meter över havet inte att vara berörda, men mindre segel- eller motorbåtar i hamnen kan påverkas och bör avgränsas från området. Då molnet kan ändra riktning om vindförhållande förändras är det viktigt med evakueringsplaner för samtliga omgivande riktningar.

4.4.10.1 Exempel spridningsrisk av koldioxid

Flytande koldioxid från en behållare på 1 500 m³ kommer att expandera till cirka 800 000 m³ och täcka en yta på 500 000 m² ca 1,5 m över marken. Det resulterar i ett moln på 700 x 700 m som rör sig med vindriktningen.



Figur 37 visar ett moln av koldioxid efter ett läckage (HSL, Laurence Cusco)

På grund av riskerna med hanteringen av stora mängder koldioxid är det viktigt att tidigt genomföra omfattande risk- och säkerhetsutredningar och att under hela projektet löpande föra dialog med berörda myndigheter. Då området är nytt finns även en osäkerhet hos försäkringsbolagen vilket innebär att även dessa bör bli involverade i ett tidigt skede.

4.4.11 Logistik, transport och lagring av CO₂ från Skövde Energi

I detta delprojekt har följande scenarier och avskiljningsvolymerna använts som underlag för beräkningar. I Tabell 21 ses de volymscenarierna som fastställdes i AP1 Teknik.

Tabell 19 visar de volymscenarierna som fastställts av delprojekt Teknik

Scenario	Block	Mängd ton CO ₂ /år
Scenario 1	Block 3, full avskiljningsgrad	54 000
Scenario 2	Block 4, full avskiljningsgrad	73 000
Scenario 3	Block 3 samt 4, full avskiljningsgrad	127 000

För varje scenario har tre koncept för transport och lagring utvärderats. Koncepten är uppdelade i Koncept 1, 2 och 3.

Koncept 1 innebär att den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till lämplig plats för omlastning till järnvägsvagnar inom Skövde kommun. Där lastas koldioxiden över till järnvägsvagnar och transporteras med järnväg till Göteborgs Hamn för vidare transport med fartyg till slutlagring i Nordsjön.

Koncept 2 innefattar att den avskilda koldioxiden transporteras via rörledning till lämplig plats för omlastning till järnvägsvagnar inom Skövde kommun. Där lastas koldioxiden över till järnvägsvagnar och transporteras med järnväg till Göteborgs Hamn för vidare transport med fartyg till slutlagring i Nordsjön.

Koncept 3 innebär att den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till en tänkt terminal i Falköping för omlastning till järnvägsvagnar. Där lastas koldioxiden över till järnvägsvagnar och transporteras med järnväg till Göteborgs Hamn för vidare transport med fartyg till slutlagring i Nordsjön.

4.4.11.1 Mellanlager

Erforderlig storlek på mellanlagret beror på vilket scenario som väljs. I Tabell 22 visas valt scenario, maximal daglig avskiljning av CO₂, nödvändig volym för mellanlager, nödvändig area för placering av tankar samt beräknad investeringskostnad⁶⁰ (Capex). Då volymerna överstiger 100 m³ rekommenderas användning av sfäriska tankar för mellanlagring.

Den uppskattade nödvändiga volymen baseras på den dagliga koldioxidavskiljningsgraden och att transporter från mellanlagret sker dagligen med en viss säkerhetsmarginal.

Tabell 20 visar beskrivning av nödvändiga volymer och areor för mellanlagring lokalt

Scenario	Max. daglig avskiljning (ton CO ₂)	Nödvändig volym (m ³)	Nödvändig area (m ²)	Ber. investering (M€)
Scenario 1	170	500	300	2
Scenario 2	370	800	400	2,5
Scenario 3	540	1200	500	3,7

Då utrymmet inom Skövde Energis område är begränsat och en avskiljningsanläggning med mellanlager inte får förhindra den ordinarie verksamheten har ett område på motsatt sida Energivägen identifierats som möjlig placering av ett mellanlager, se Figur 41. Ytan används idag som parkering för Skövde Energis anställda och uppgår till ca 1700 m².

⁶⁰ Enligt uppgifter från Captimise



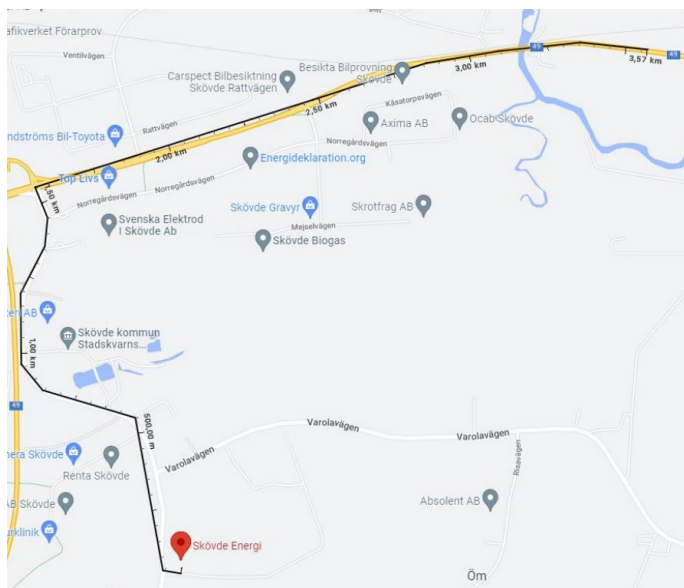
Figur 38 visar potentiell yta för mellanlager. Bild: Eniro

Den förvätskade koldioxiden skulle med detta val behöva transporteras i rörledning ovan eller under Energivägen. Med en placering av ett mellanlager på denna plats kan även lastning av lastbilar ske utan att påverka den övriga verksamheten i större utsträckning.

4.4.11.2 CO₂-transport med lastbil

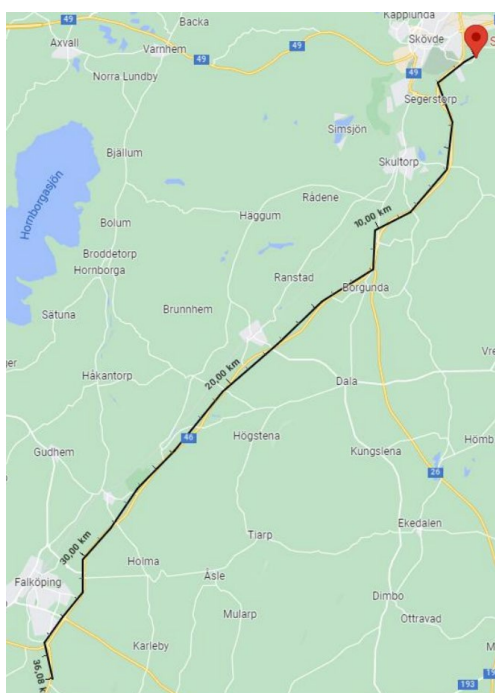
I logistikkoncept 1 transporteras den flytande koldioxiden från mellanlagret hos Skövde Energi till en tågterminal med lastbil. Då tågcentralen i Skövde och dess närliggande godsbangård är belägna centralt i Skövde stad bedöms dessa platser som olämpliga för omlastning av koldioxid. Ett läckage skulle kunna innebära omfattande risker för boende i närområdet. I denna förstudie har projektgruppen därför förutsatt att en ny tågtrafikplats kommer behöva anläggas en bit utanför tätorten alternativt i anslutning till kombiterminalen i Falköping. En sådan placering behöver utredas vidare, men i förstudien har en fiktiv placering inom Skövde kommun använts som exempel i syfte att kunna ge en kostnadsindikation.

Vid utfallet med en ny terminal inom Skövde kommun uppskattas ett troligt transportavstånd för lastbilarna till ca 3,5 km, se Figur 42.



Figur 39 visar exempel på färdväg inom Skövde kommun.

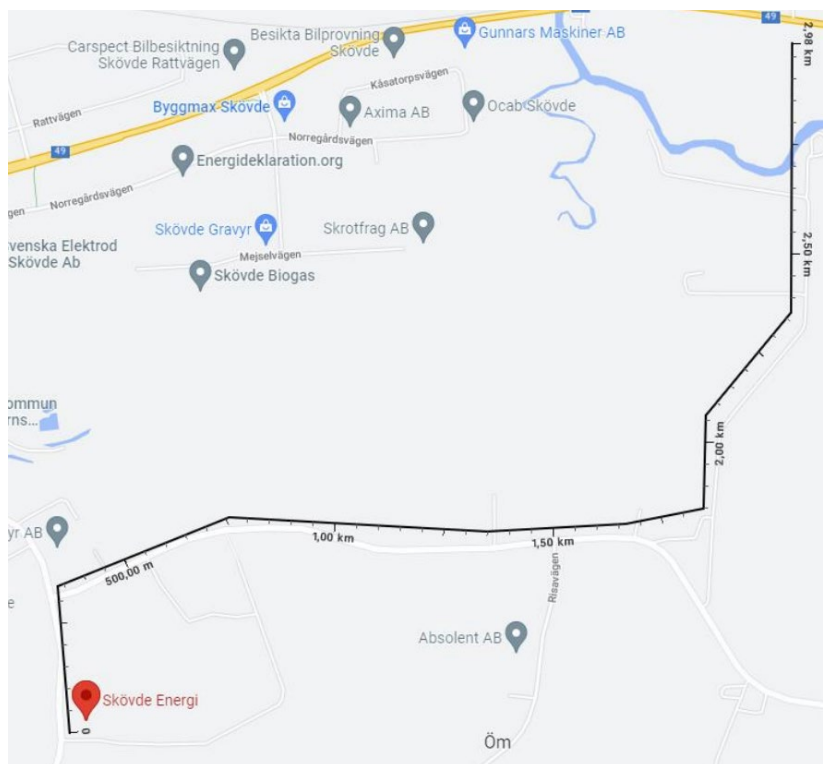
Avståndet till kombiterminalen i Falköping blir ca 36 km, Figur 43. Lastbilstransporter bedöms inte innebära någon investering utan kostnadsuppskattningen begränsas till driftskostnader (Opex). Kostnadsberäkningarna baseras på att 1-3 lastbilar kör 6-9 rundturer per dag beroende på volymscenario och logistikkoncept. Den stora kostnadsposten är chauffören vilket innebär variationer i kostnader mellan de olika volymscenariorna baserat på nödvändigt antal lastbilar med tillhörande chaufförer.



Figur 40 visar exempel på färdväg till Falköping

4.4.11.3 CO₂-transport med rörledning

I logistikkoncept 2 beräknas den flytande koldioxiden transporteras via rörledning direkt från avskiljningsanläggningen till samma fiktiva plats inom Skövde Kommun som i logistikkoncept 1. En sträcka som, för en rörledning, uppmätts till ca 3 km, se Figur 44. Vidare utredningar är nödvändiga för att lokalisera lämpligast sträckning för en rörledning samt nödvändiga tillstånd för denna.



Figur 41 visar exempel på sträcka för rörledning

Kostnaderna för en rörledning begränsas till investeringskostnader då de operativa kostnaderna är mycket låga. I ovan nämnda exempel uppskattas investeringskostnaden till ca 10 000 000 EUR⁶¹ (Capex). Ytterligare kostnader för exempelvis tillståndsprocesser kan tillkomma.

4.4.11.4 CO₂-transport med tågterminal

Oavsett placering av en terminal för omlastning till tåg innebär detta en stor investeringskostnad. Projektgruppens uppfattning är att det inte troligt att en ensam aktör tar hela investeringskostnaden utan det troligaste scenariot är att en koalition av utsläppare samt logistikoperatörer går ihop och investerar i en gemensam terminal. För att täcka endast Skövde Energis behov uppskattas en terminal behöva en mellanlagringskapacitet på ca 3000 m³ och en yta på ca 7000 m². Investeringskostnaden uppskattas till ca 12 000 000 EUR⁶² (Capex).

4.4.11.5 CO₂-transport med tåg

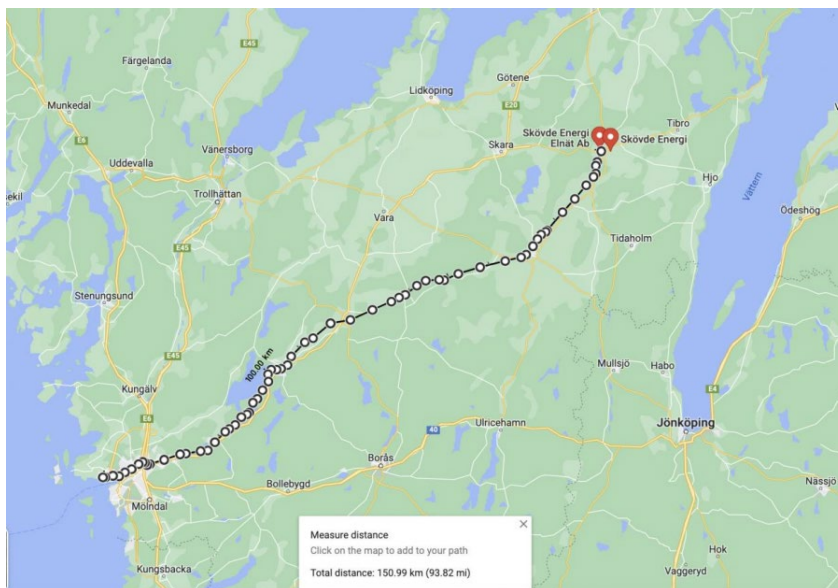
Samtliga scenarier i denna rapport utgår från att den flytande koldioxiden transporteras via tåg till Göteborgs hamn. Antingen från en terminal i Skövde eller från Falköping. Då avstånden inte skiljer sig

⁶¹ Enligt uppgift från Captimise

⁶² Enligt uppgift från Captimise

nämnvärt påverkas heller inte kostnaden för tågtransporten i någon större utsträckning. För tågtransporter är det hyra av lok, vagnar och lokförare som påverkar kostnadsbildningen, inte avståndet.

I Figur 45 nedan visas tågets färdväg från Falköping/Skövde till Cinfracaps terminal i Göteborgs hamn. En sträcka på ca 151 km.



Figur 42 visar indikativ färdväg för tåg Falköping/Skövde till Cinfracap i Göteborg

För kostnadsuppskattningar har preliminära uppgifter från Captimise, Green Cargo samt Hector Rail använts. Beräkningarna är baserade på att fulla tågsätt 13 vagnar motsvarande ca 800 m³ koldioxid avgår 1 gång om dagen. Då detta överstiger Skövde Energis egna avskiljningspotential antas att tåg, tågterminal samt mellanlager nyttjas av flera utsläppare i samarbete.

4.4.11.6 CO₂-lagring i hamn

I denna förstudie antas att koldioxiden transporteras till Cinfracap i Göteborgs hamn då projektgruppen anser att denna terminal är långt fram i utvecklingsplanerna med god geografisk placering för transporter till både järnvägsanslutning från Skövde samt för vidare transport ut i Nordsjön.

Hamnkostnaderna är beräknade utifrån uppgifter från Cinfracap samt Captimise och uppgår till 10,8 EUR/ton CO₂ (OPEX).

4.4.11.7 CO₂-transport med Fartyg

Projektgruppen har i denna rapport antagit att Skövde Energi kommer att anlita ett rederi eller en lagringsaktör som leverantör av fartygstransporter samt att dessa kommer ske i sammanslagna volymer med andra utsläppare. Vidare antas att fartygen kommer att utgå från Göteborgs Hamn och transporteras en sträcka på 900 km. Detta motsvarar avståndet mellan Göteborgs Hamn och Northern Lights vilket kan anses representativt för lagring i Nordsjön.

I Tabell 23 ses ungefärligt avstånd från Göteborgs Hamn till ett urval av lagringsplatser i Nordsjön.

Tabell 21 visar ungefärligt avstånd i km från Göteborgs Hamn till ett urval av lagringsplatser i Nordsjön.

Lagringsplats	Avstånd från Göteborg (km)
Horisont Energy	2200
Northern Lights	900
Storegga	800
Greensand	400
Endurance	900
Carbfix	2000

Avståndet till Greensands lagringsplats är kortast med 400 km och längst till Horisont Energys lagringsplats med 2200 km.

4.4.11.8 Lagringsplatser för CO₂

I de olika logistikscenarierna för Skövde Energi har Northern Lights använts som ett representativt avstånd till en permanent lagringsplats. Kostnaden för lagring är antagen till 20 EUR/ton (OPEX) vilket baseras på preliminära prisuppgifter från intervjuer med ett antal olika lagringsaktörer och offentliga uppgifter från Zero Emissions Platform. Kostnaden är antagen i överkant för att lämna en säkerhetsmarginal då inga fastställda pristariffer har kunnat erhållas.

4.4.12 Kostnadssammanställning

En kostnadssammanställning för respektive volymscenario samt dess underliggande logistikkoncept har utförts av projektgruppen. Då projektgruppen bedömer sannolikheten låg att enbart Skövde Energi kommer att stå för hela investeringskostnaden för en tågterminal har denna kostnad exkluderats ur denna kostnadssammanställning. Dock behöver investeringskostnaden för en tågterminal att utredas vidare.

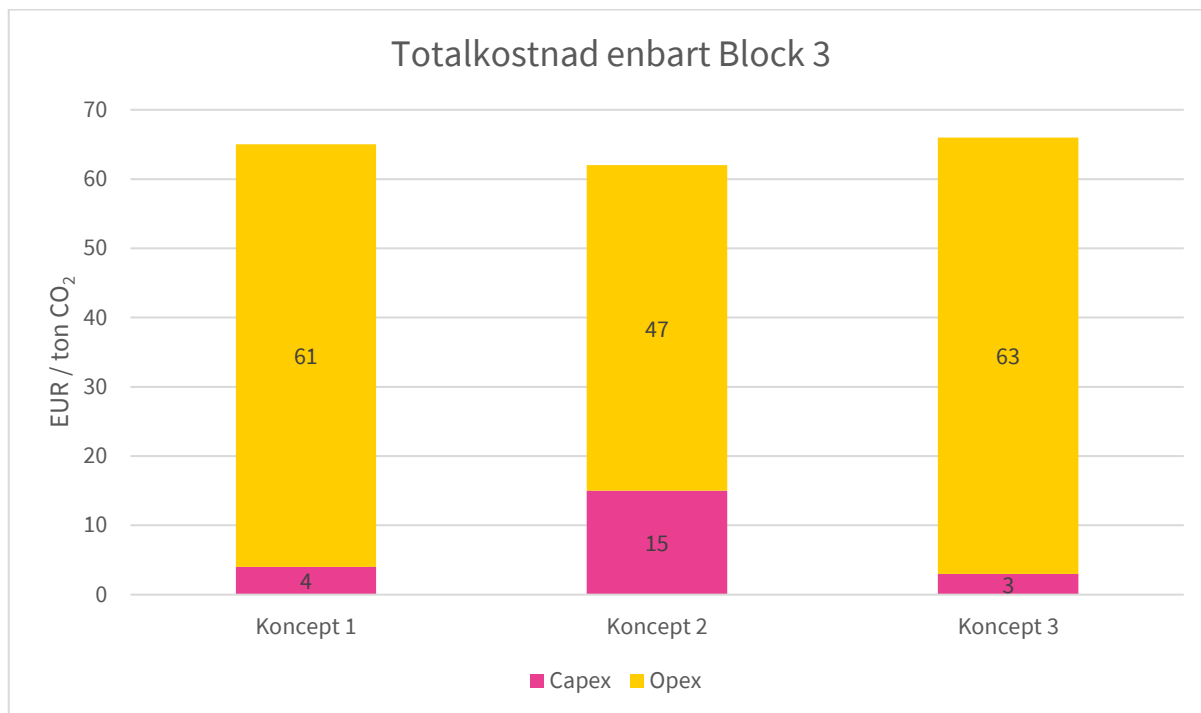
4.4.12.1 Volymscenario 1, block 3, 54 000 ton CO₂

I Tabell 24 ses kostnadsfördelning samt totalkostnad i EUR/ton CO₂ (Capex + Opex) för respektive logistikkoncept vid ett volymscenario på 54 000 ton avskild CO₂. Investeringskostnad för tågterminal tillkommer.

Tabell 22 visar kostnadssammanställning i EUR/ton CO₂ (CAPEX + OPEX) för respektive logistikkoncept vid volymscenario 1.

Logistik-koncept	Mellanlager (CAPEX)	Lastbil (OPEX)	Rörledning (CAPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (EUR/ton CO ₂)
1	4	14	-	9	11	7	20	65
2	-	-	15	9	11	7	20	62
3	3	16	-	9	11	7	20	66

Totalkostnaderna för de olika logistikkoncepten är liknande. Totalkostnaden är lägst för logistikkoncept 2 med rörledning med 62 EUR/ton CO₂. I Figur 46 ses totalkostnaden för volymscenario 1 fördelad på Capex och Opex.



Figur 43 visar totalkostnad för volymscenario 1 fördelat på Capex och Opex

Capex-nivån är högst för logistikalternativet med rörledning, dock har denna ett lägre Opex om konceptalternativet jämförs med de andra två.

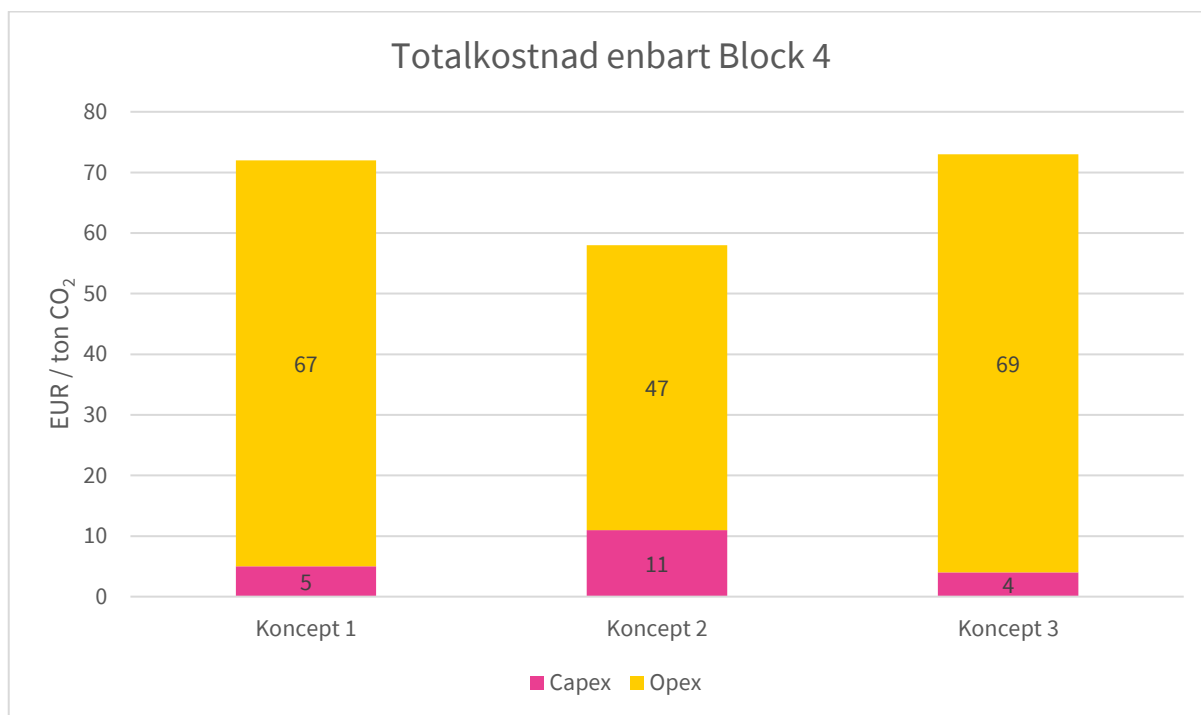
4.4.12.2 Volymscenario 2, block 4, 73 000 ton CO₂

I Tabell 25 Kostnadsfördelning samt totalkostnad i EUR/ton CO₂ (Capex + Opex) för respektive logistikkoncept vid ett volymscenario på 73 000 ton avskild CO₂. Investeringskostnad för tågterminal tillkommer.

Tabell 23 visar kostnadssammansättning i EUR/ton CO₂ (Capex + Opex) för respektive logistikkoncept vid volymscenario 2.

Logistik-koncept	Mellanlager (CAPEX)	Lastbil (OPEX)	Rörledning (CAPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (EUR/ton CO ₂)
1	5	20	-	9	11	7	20	72
2	-	-	11	9	11	7	20	58
3	4	22	-	9	11	7	20	73

Totalkostnaden är lägst för logistikkoncept 2 med rörledning med 58 EUR/ton CO₂. I Figur 47 ses totalkostnaden för volymscenario 2 fördelad på Capex och Opex.



Figur 44 visar totalkostnad volymscenario 2 fördelat på Capex och Opex

Capex-nivån är högst för logistikalternativet med rörledning, dock har denna ett lägre Opex om konceptalternativet jämförs med de andra två.

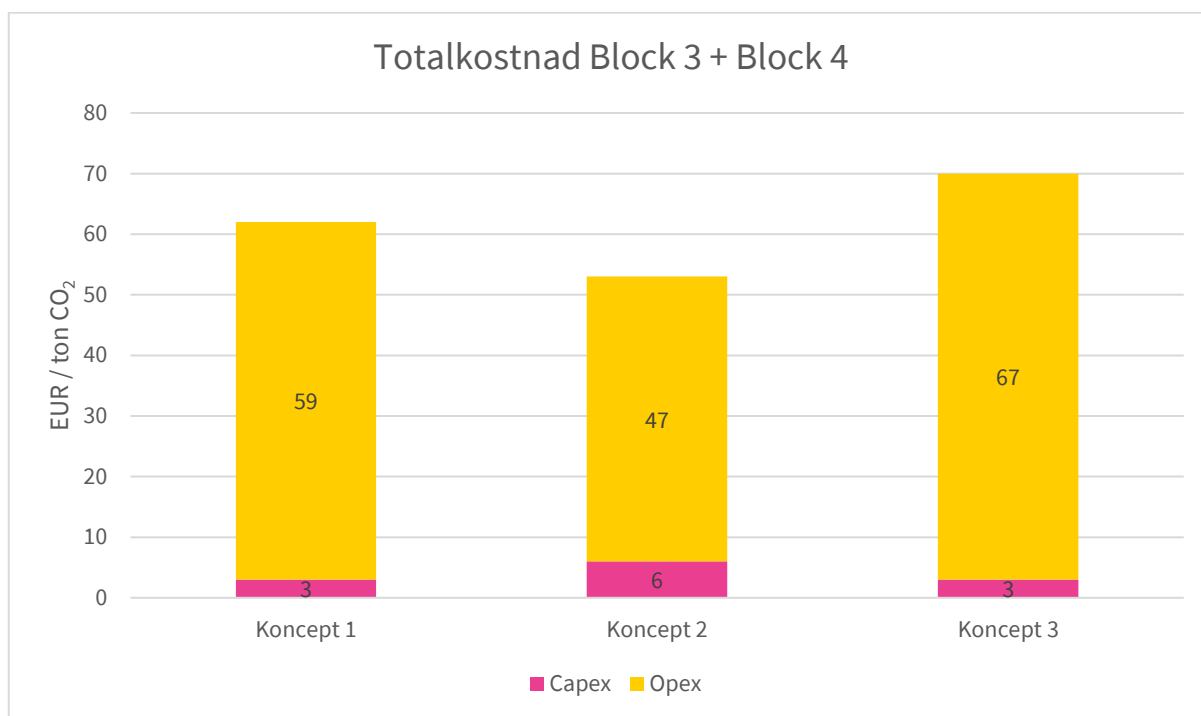
4.4.12.3 Volymscenario 3, Block 3+ Block 4, 127 000 ton CO₂

I Tabell 26 ses kostnadsfördelning samt totalkostnad i EUR/ton CO₂ (Capex + Opex) för respektive logistikkoncept vid ett volymscenario på 127 000 ton avskild CO₂. Investeringskostnad för tågterminal tillkommer.

Tabell 24 visar kostnadssammanställning i EUR/ton CO₂ (Capex + Opex) för respektive logistikkoncept vid volymscenario 2

Logistik-koncept	Mellanlager (CAPEX)	Lastbil (OPEX)	Rörledning (CAPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (EUR/ton CO ₂)
1	3	12	-	9	11	7	20	62
2	-	-	6	9	11	7	20	53
3	3	20	-	9	11	7	20	70

Totalkostnaden är lägst för logistikkoncept 2 med rörledning med 53 EUR/ton CO₂. Om totalkostnaden jämförs med de andra scenarierna så är denna med 53 EUR/ton CO₂ lägst. I Figur 48 ses totalkostnaden för volymscenario 3 fördelad på Capex och Opex.



Figur 45 Totalkostnad volymscenario 3 fördelat på Capex och Opex

Capex-nivån är högst för logistikalternativet med rörledning, dock har denna ett lägre Opex om konceptalternativet jämförs med de andra två.

4.4.13 Regler för koldioxidavskiljning, transport och lagring

Projektgruppen har undersökt tillämpliga tillstånd och regelverk för möjliga transport- och lagringsalternativ av koldioxid.

Aktörer som transporterar farligt gods eller lämnar farligt gods till aktör för transport skall vidta de skyddsåtgärder och de försiktighetsmått som krävs för att förebygga och förhindra att transporten orsakar skador på liv, hälsa, miljö eller egendom. Detta innebär att de transportmedel och transportanordningar som används skall vara lämpliga för transport av koldioxid.⁶³

4.4.14 Transport av avfall

Koldioxid för geologisk lagring undantas avfallsförordningen enligt 1 kap 15 § 9 punkten avfallsförordningen (2020:614). Transport av koldioxid för geologisk lagring omfattas därmed inte av regler om tillstånd för transport av avfall.

4.4.15 Transport med lastbil

Resultatet av logistikstudien visar att det är möjligt att den inledande transporten för avskild koldioxid från Skövde Energi kommer ske med lastbil. Miljötillståndet kan sätta villkor för att till

⁶³ 2 § Lag (SFS 2006:263) om transport av farligt gods

exempel reglera vilka timmar på dygnet transporter med lastbil får ske. Det skulle kunna innebära transporter som endast får gå dagtid för att undvika buller från trafiken.

Transport av farligt gods med lastbil detaljregleras i MSBFS 2020:9 föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S). Föreskriften är en implementering i svensk rätt av internationella transportregler som uppdateras vartannat år.

Enligt ADR-S klassificeras koldioxid som farligt gods och har UN-kod 1013. För transport av farligt gods på väg krävs att transportören har en godkänd säkerhetsrådgivare och att godset lastas och hanteras korrekt samt att lasten är märkt enligt ADR-S. Utöver dessa regler finns även regler för lastbilen och koldioxidbehållarna.

4.4.16 Tunnelrestriktioner

I allmänhet tillhör vägtunnlar kategori A och märks då inte ut med vägmärke. I de fall en vägtunnel tillhör kategori A gäller inga tunnelrestriktioner.

Om transport av koldioxid sker med lastbil används tankar. Enligt ADR-S har koldioxid tunnelrestriktionskod C/E. Bestämmelse 8.6.3 ADR-S anger att vid transport i tank är passage förbjuden genom tunnlar av kategori C, D och E.

Länsstyrelsen beslutar om lokala trafikföreskrifter samt om en vägtunnel tillhör tunnelkategori B, C, D eller E. Projektgruppen har inte identifierat tunnlar med restriktioner för koldioxidtransport i Skövde. När förslag om lämplig transportväg finns tillgängligt bör berörda myndigheter kontaktas för att bekräfta föreskrifterna för den specifika transportsträckan.

Vid lastbilstransport till Göteborgs hamn noterar projektgruppen att det finns tunnlar i Göteborg som förbjuder all transport av farligt gods, inklusive koldioxid. Transport av farligt god är förbjuden i följande tunnlar:

- Tingstadstunneln (E6): Kategori E
- Götatunneln (E45): Kategori E
- Lundbytunneln (del av E6.21): Kategori E
- Marieholmstunneln (del av E6.21): Kategori E

4.4.17 Transport på 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 via järnväg kommer att utföras av extern operatör som därmed ansvarar för en säker hantering av koldioxiden. Denna operatör är ansvarig för att utrustningen uppfyller krav för säker transport samt tillstånd för transport på järnväg.

4.4.18 Omlastningsplats

Inget järnvägsspår går idag fram till Skövde Energis anläggning. Transport måste därför först ske med lastbil (eller rörledning) till en omlastningsplats. På omlastningsplatsen måste det eventuellt finnas ytterligare ett mellanlager för koldioxiden samt en mindre förvätskningsanläggning för att möjliggöra en omlastning till tåg. Det kommer därmed även behövas ett bygglov och miljötillstånd för mellanlager av koldioxid och för en förvätskningsanläggning på omlastningsplatsen.

4.4.19 Rörledning

För att anlägga en rörledning för transport av koldioxid 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 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 rördragning för koldioxid faller under samma punkt 4 i 2 § ledningsrättslagen som rörledning för fjärrvärmenätet. Ledningsrätten av rörledningen förrättas av Lantmäteriet och skall följa Skövde kommuns regler, inklusive detaljplaner och säkerhetsavstånd.⁶⁴

En ledning får inte dras inom ett vägområde utan Trafikverkets tillstånd.⁶⁵ Utöver tillståndet krävs ett avtal med Trafikverket för att få tillträde till vägområdet. Om ledningen kräver arbeten på järnväg krävs även ett nyttjanderättsavtal med Trafikverket.⁶⁶

4.4.20 Transport med båt

IMDG-koden (International Maritime Dangerous Goods Code) är IMO:s internationella regelverk för transport av förpackat farligt gods till sjöss. Reglerna implementeras i Sverige genom Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden). Koldioxid för transport i nedkyld fast form (torris) anses presentera en fara under transport och klassificeras under klass 9 och koden UN 1845.⁶⁷ Skövde Energi kommer överlåta eventuell transport med båt till ett logistikföretag som tillhandahåller lämplig utrustning, innehar nödvändiga tillstånd och tillämpar säkerhetsföreskrifter och regelverk för sjötransporter av koldioxid.

4.4.21 CCS Direktivet

CCS (Carbon Capture and Storage) Direktivet⁶⁸ antogs 2009 och utgör en rättslig ram för geologisk lagring av koldioxid som medlemsstaterna har implementerat i nationell lagstiftning. Direktivet ställer upp krav på lagringstillstånd, ansökan för lagringstillstånd samt villkoren som skall ställas upp vid lagringstillstånd. Verksamhetsutövaren för lagringen måste utöva övervakning och rapportering över koldioxiden under drift av förvaret. Dessutom föreskriver direktivet regler om ansvar för stängning och efter stängning av lagringsplatsen.⁶⁹ CCS-direktivet har implementerats i svensk lagstiftning genom bestämmelser i miljöbalken och dess förordningar (t ex MPF), genom förordningen (2014:21) om geologisk lagring av koldioxid och genom lagen (1966:314) om kontinentalsockeln. I dagsläget är

⁶⁴ 7 § och 8 § ledningsrättslagen.

⁶⁵ 44 § väglagen (1971:948).

⁶⁶ Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:

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

⁶⁷ 2.9.2, Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)

⁶⁸ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid och ändring av rådets direktiv 85/337/EEG, Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG och 2008/1/EG samt förordning (EG) nr 1013/2006

⁶⁹ Artikel 17 ff, Direktiv 2009/31/EG

storskaliga lagringsplatser endast tillåtna till havs. Inget tillstånd har ännu meddelats i Sverige. Det är inte Skövde Energi som ansöker om tillstånd för lagring av koldioxiden utan lagringstillståndet söks av den verksamhetsutövaren som driver lagringsplatsen.

4.4.22 Export av koldioxid till en lagringsplats utanför Sveriges gränser

I dagsläget finns inga startade eller färdiga projekt för geologisk lagring av koldioxid i Sverige. Koldioxiden måste därför transporteras utanför Sveriges gränser. Det finns till exempel projekt för lagring i Norge, Danmark, Storbritannien och på Island.

Det är i dagsläget förbjudet att exportera koldioxid för lagring under havsbotten. London Convention antogs år 1972 för att skydda havsmiljön (Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter). Konventionen moderniserades och London Protocol⁷⁰ trädde i kraft år 2006. Londonprotokollet förbjuder dumping av alla typer av avfall i havet med undantag för några tillåtna ämnen i Revers list. Koldioxid är ej undantagen och omfattas av Londonprotokollet.

År 2009 antogs ett tillägg till Londonprotokollet för att tillåta export av koldioxid för geologisk lagring i en annan stat. Tillägget har ännu inte trätt i kraft då det ännu inte ratificerats av tillräckligt många parter. Avtalsparterna kom i oktober år 2019 överens om att möjliggöra en provisorisk tillämpning av tillägget genom påskrift och anmälan om ett bilateralt avtal mellan två parter till Londonprotokollet.⁷¹ Export av koldioxid från Sverige för geologisk lagring kräver därför att regeringen ingår bilaterala avtal mellan berörda stater. Sveriges regering har givit Energimyndigheten i uppdrag att utarbeta sådana bilaterala avtal med Norge, Storbritannien och Nederländerna.⁷² I skrivande stund har sådana bilaterala avtal ännu inte slutits.

4.4.23 Diskussion AP4

Studien har kunnat visa på att det, beroende på val av logistiklösningar, går att påverka kostnaden för hela värdekedjan. Kostnaden för logistik och lagring står delvis i korrelation till volymstorleken av avskild koldioxid vilket gör att nyttan av gemensamma nätverk och hubbar för koldioxidtransport gynnar såväl utvecklingen av Bio-CCS som den enskilde utsläpparen.

Tågtransporter i Sverige kan anses vara ett miljövänligt alternativ då elektrifieringen av det svenska järnvägsnätet är vida utbredd. Transporter kan också ske snabbt och kostnadseffektivt genom hela landet och till samtliga större hamnar. Stambanorna i Sverige är dock redan hårt belastade och nära sin maxkapacitet. För att kunna hantera den markant ökade mängden tåg som Bio-CCS kan komma att innebära är det viktigt att Trafikverket brådskande utreder behovet av en utbyggnad av stambanenätet.

De logistiska förutsättningar för en avskiljningsanläggning hos Skövde Energi anses goda. Att Skövde ligger inlands innebär visserligen utmaningar som en kustnära anläggning inte har, men med närhet

⁷⁰ International Maritime Organisation (IMO), 1996 Protocol to the Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter 1972

⁷¹ Möte LC 41/LP 14, oktober 2019.

⁷² Regeringen, Infrastrukturdepartementet, Uppdrag att vara nationellt centrum för avskiljning och lagring av koldioxid samt ta fram ett förslag till avtal, 2020-12-22, Referens: I2020/03419

till järnväg samt goda tågförbindelser med hamnar kan dessa utmaningar överkommas. Grusplanen på andra sidan Energivägen samt befintliga ytor kring kraftvärmeverket möjliggör också för en byggnation av en avskiljningsanläggning med tillhörande mellanlager. Detta behöver dock utredas vidare och en placering som överensstämmer med Skövde Energis övriga verksamhet och framtida planer behöver tas fram.

Projektgruppen ser en korrelation mellan volymstorlek och kostnader för logistik. Större volymer innebär generellt lägre kostnader i EUR/ton CO₂. En avskiljningsanläggning på både Block 3 och Block 4 är därför att föredra ur logistiskt hänseende. Totalkostnaden är då lägst med rörledning på 53 EUR/ton CO₂, projektgruppen vill påminna att investeringskostnaden för en tågterminal är exkluderad. Det innebär visserligen en något högre investeringskostnad i mellanlagringskapacitet, men det vägs upp av lägre operativa kostnader.

Kostnadsberäkningarna visar på att en rörledning från avskiljningsanläggningen till en framtida tågterminal innebär de lägsta operativa kostnaderna. En rörledning har dessutom en lång teknisk livslängd vilket minskar behovet av reinvesteringar under avskiljningsanläggningens livslängd. Investeringskostnaden är dock hög och det innebär stora utmaningar med att bygga en rörledning genom bebyggt område. Risk finns också att investeringskostnaden blir ännu större beroende på lokala förutsättningar, tillståndsprocesser, markförhållanden och liknande.

4.4.24 Rekommendation för transport och lagring av koldioxid

En tågterminal med tillhörande mellanlager kommer att behöva byggas antingen inom Skövde Kommun eller i närliggande orter så som exempelvis Falköping. Projektgruppen bedömer att det är orimligt att anta att Skövde Energi, med relativt låga volymer CO₂, själva ska bekosta en sådan anläggning krävs samarbete med andra närliggande utsläppare samt logistikoperatörer. En kartläggning av sådana potentiella samarbetspartners bör genomföras snarast och en gemensam utredning över möjliga alternativ bör tillsättas. Möjligheterna till statlig finansiering av infrastruktur bör också utforskas. En sammanslagning av volymer CO₂ med andra utsläppare kommer utöver att minska Skövde Energis investeringskostnader för en terminal också ha en positiv påverkan på Skövde Energis operativa kostnader för hela logistikkedjan.

För att säkra lagringsutrymme samt transporter bör intressedialoger med såväl lagringsaktörer, potentiella hamnar, rederier och logistikaktörer påbörjas tidigt. Även om potentialen för lagring anses god kan en snabb utveckling av CCS i Norden innebära att lagringsaktörerna inte hinner med att erbjuda lagring i nödvändig takt. Leveranstider av exempelvis fartyg, tågvagnar och lastbilar innebär också att konkurrensen om befintlig materiel blir hård vilket innebär att en tidig dialog kan bli avgörande för ett lyckat genomförande.

Då hantering av koldioxid i denna skala innebär risker som exempelvis svenska myndigheter och försäkringsbolag är ovana vid bör även här dialoger starta omgående. Även internt bör diskussioner kring säkerhet och arbetsmiljö påbörjas.

4.5 AP 5 Affärsmodell

Projektgruppen skall ta fram ett scenario för en hållbar affärsmodell för att i kommande projektsteg kunna starta en detaljprojektering för att producera klimatpositiv fjärrvärme med en Bio-CCS anläggning.

Inom arbetspaket 5 skall projektgruppen ta fram ett scenario för en hållbar affärsmodell som är i linje med Skövde Energis långsiktiga strategi och mål. Risker och kostnader längs hela logistikkedjan fram till koldioxidens slutdestination skall analyseras och bedömas.

4.5.1 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.

4.5.1.1 ETS – Handel med utsläppsrätter

Handelssystemet med utsläppsrätter infördes genom utsläppshandelsdirektivet.⁷³ Det är implementerat i svensk rätt⁷⁴ och är inne på sin fjärde handelsperiod.

Inom systemet tilldelas större utsläppskällor av växthusgaser en kvot av gratis utsläppsrätter (rätt att släppa ut motsvarigheten av ett ton koldioxid).⁷⁵ Skövde Energi har tilldelats gratiskvoter för Värmevärmekällan den första delen av handelsperioden (år 2021-2025). Vid utsläpp som överstiger kvoten måste fler utsläppsrätter köpas in i en auktion. Det finns ett tak för hur många utsläppsrätter som totalt kan släppas ut i EU. Tanken är att EU gradvis kommer att sänka både det totala antalet tillgängliga utsläppsrätter samt antalet gratiskvoter så att priset på utsläppsrätterna stiger. Detta leder till ökade kostnader för att släppa ut koldioxid och därmed mer attraktivt för verksamheter att göra investeringar som minskar utsläppen. År 2019 var priset för en utsläppsrätt cirka 25 EUR/ton CO₂ och straffavgiften för den aktör som inte överförde tillräckligt med utsläppsrätter 100 EUR/ton CO₂.⁷⁶

Samtidigt som CCS-direktivet framtogs så antogs ändringar till utsläppshandelsdirektivet. Ändringarna gör det möjligt för anläggningar som är skyldiga att överlämna utsläppsrätter för sin verksamhet att kvitta utsläppsrätter mot infångad och lagrad koldioxid.⁷⁷ Skövde Energi kommer därmed inte längre ha behov av att köpa utsläppsrätter för den fossila koldioxiden vid implementering av Bio-CCS. Förhoppningen är att detta, i kombination med ett högre pris på utsläppsrätter, skall verka som ett incitament för verksamhetsutövare att implementera

⁷³ 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

⁷⁴ Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser

⁷⁵ 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)

⁷⁶ s. 37 (s. 40), Regeringens proposition 2020/21:27 Nytt regelverk för handel med utsläppsrätter och artikel 16 utsläppshandelsdirektivet.

⁷⁷ 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

koldioxidavskiljning.⁷⁸ Om Skövde Energi inför koldioxidavskiljning på Block 3 ges minskade kostnader för utsläppsrätter. Block 3 har även en biogen andel koldioxidutsläpp, men det är i dagsläget oklart om denna biogena andel kommer att bokföras annorlunda vid en eventuell avskiljning.

Den 17 december år 2022 beslutades det om en preliminär politisk överenskommelse mellan EU:s medlemsstater och Europaparlamentet gällande förändringar av ETS genom ytterligare minskningar av utsläppstaket. Avfallsförbränningsanläggningar i Europa skall fasas in i systemet och kommer eventuellt att inkluderas fullt ut från och med år 2028. Anläggningar med mer än 95 % biogena koldioxidutsläpp skall inte längre ingå i EU ETS.⁷⁹

4.5.1.2 CRCF förordningen

Den Europeiska Kommissionen lämnade förslag på en ny förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag (Union certification framework for carbon removals) den 30 november år 2022.⁸⁰ Förordningen sätter upp ramarna för hur systemet för certifieringen skall fungera. Mer detaljerade regler kommer att antas senare av Kommissionen.

Definitionen av koldioxidupptag återfinns i Artikel 2.1 a) förslag till förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag.

”koldioxidupptag: antingen lagring av atmosfärisk eller biogen koldioxid i geologiska kolpooler, biogena kolpooler, produkter och material samt den marina miljön, eller minskning av koldioxidavgivningen från en biogen kolpool till atmosfären”

Förslaget skiljer mellan tre olika typer av koldioxidupptagning: permanent koldioxidlagring, kolinlagrande jordbruk och koldioxidlagring i produkter. Men det är oklart hur dessa olika slag av koldioxidupptagning kommer behandlas och om de kommer åtskiljas i systemet i framtiden.

Förslaget har blivit kritiserat bland annat för att:

- definitionen för koldioxidupptag (Carbon Removal) inte är tillräckligt tydlig och för att den inkluderar både lagring och minskning i samma definition;
- det inte är tillräckligt tydligt hur ansvaret för lagring skall fördelas; och
- det inte är tillräckligt tydligt hur olika typer av certifikat kan användas och om infångningsmetoden och lagringsmetoden kommer påverka hur mycket företag kan få betalt.

⁷⁸ 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

⁷⁹ Naturvårdsverket, *Preliminär överenskommelse om förändringar i EU ETS, 2022-12-23*
<https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/utslappshandel/preliminar-overenskommelse-om-forandringar-i-eu-ets/>

⁸⁰ 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

Projektgruppen bevakar utvecklingen av CRCF förordningen fortsatt.

4.5.1.3 Nationellt stödsystem för Bio-CCS

Ett stödsystem för Bio-CCS kommer att vara omvända auktioner som planeras starta år 2023/2024 med lagring av koldioxid från år 2026/2027. Stödet kommer att täcka kostnader för avskiljning, transport och lagring av koldioxid med en kontraktstid på 15 år. Omvända auktioner innebär att den som kan avskilja och lagra koldioxid till lägst kostnad vinner anbudet och kommer att erhålla en fast premie per ton avskild koldioxid. Den politiska mognaden för Bio-CCS är högre i Sverige jämfört med länder i resten av Europa.

Statliga stöd och skattelättnader är en drivande kraft för att starta omställningen till klimatpositiva initiativ. Men det kommer också behövas andra marknader för att skapa en lång och hållbar affärsmodell. Om volymen av Bio-CCS skall öka för att Sverige ska nå klimatmålen år 2045 så är ett direkt statligt stöd långsiktigt ej hållbart då kostnaden skulle bli en stor belastning för statsfinanserna.

Finansieringen av Bio-CCS-projektet är avgörande för att det skall förverkligas. Det krävs kapital för investeringen, men även fortsatt för finansiering för avskiljning, transport och lagring av koldioxiden. Frågan om finansiering är nära knuten till vem och hur det är möjligt använda den avskilda koldioxiden. Dessa frågor har utgjort en stor del av omvärldsanalysen under projektets gång eftersom de är avgörande för om uppförandet av anläggningen kan komma till stånd. Med anledning av detta har Sverige kommit fram till incitament för att påbörja implementeringen av tekniska klimatpositiva initiativ. Sverige har i sin budget dedikerat totalt 36 miljarder kronor för åren 2026–2046 som stöd till omställningen för industrier och företag.

4.5.1.3.1 Omvända auktioner

När projektet påbörjades i februari år 2022 hade Energimyndighetens rapport "Första, andra, tredje... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS"⁸¹ precis gått ut på remiss. I rapporten poängterades att svenska staten anser det vara lämpligt att lämna ett ekonomiskt stöd till företag för att möjliggöra investeringar i avskiljningsanläggningar och göra Sverige till en ledande nation i fråga om Bio-CCS.

Energimyndigheten föreslog att ett investerings- och driftstöd (stödsystem) för bio-CCS utformas genom omvända auktioner. Energimyndigheten föreslog att den första auktionen har en budstorlek på minst 50 000 ton koldioxid med bud i multipler av 10 000 ton. Ett företag som lämnar bud skall ange den kostnad de har, per ton geologiskt lagrad biogen koldioxid, för att genomföra de investeringar och för att täcka de driftkostnader som omfattas i stödförordningen. Aktörerna rankas sedan från lägsta till högsta bud per ton koldioxid upp till den auktionerade kvantiteten.

Energimyndigheten föreslår 15 år som stödperiod för att ge aktörerna en rimlig investeringsperiod och möjliggöra för teknisk utveckling och eventuella förändrade prioriteringar i lagringsfrågan samt en eventuell utveckling av en kommersiell marknad.⁸²

⁸¹ Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten

⁸² s. 6, Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten.

Enligt Energimyndigheten är det önskvärt att införa CCS på *både* fossila och biogena utsläpp. Det är dock viktigt att notera att endast de biogena utsläppen är berättigade till stöd genom omvända auktioner.

Eventuell infångad fossil koldioxid (från Block 3) måste därmed finansieras separat. Den fossila koldioxiden kan dock kvittas bort i EU ETS systemet.

Allt stöd genom statliga medel är i grunden förbjudet för att förhindra en snedvridning av konkurrensen mellan företag på den inre marknaden i den Europeiska Unionen.⁸³ I vissa bestämda fall kan undantag ges. I skrivande stund har undantaget för ett svenskt stödsystem ännu inte medgetts.

4.5.1.3.2 Bokföring, rapportering och disposition av negativa utsläpp

Energimyndigheten publicerade den 1 februari år 2023 rapporten: *"Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa"*.⁸⁴ Rapporten redovisar EU:s ramverk för reduktion av växthusgaser och argumenterar för att Bio-CCS skall bokföras och rapporteras under LULUCF-förordningen⁸⁵. Utsläpp av biogen koldioxid för biobränslen rapporteras i LULUCF i det land där biomassan producerats. Därmed skall biobränslen som förbränns under ETS (EU Emissions Trading System) och Effort Sharing Regulation-sektorn sättas till noll, eftersom de redan räknats in i nettobalansen i LULUCF i det landet där de producerades. Under det befintliga reglerna för LULUCF finns inte en specifik kategori för sådan bokföring av permanent lagrad biogen koldioxid idag. Rapporten förespråkar bokföring under kategorin *"Other"* i väntan på att en ny kategori införs.

Bio-CCS som byggts med statligt stöd måste bokföras som svenska statens minusutsläpp för att nå Sveriges mål för koldioxidutsläpp under Parisavtalet. Energimyndigheten förespråkar att när avskiljning av koldioxid skett skall företag även kunna sälja minusutsläppen på en frivillig marknad. Emellertid kommer dubbel bokföring inte att tillåtas. 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. I stället kommer det köpta certifikatet endast kunna 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 klimatförhandlingarna på COP27 i Sharm el-Sheikh.⁸⁶

Rapporten nämner även i en fotnot att en *"eventuell intäkt från en försäljning av negativa utsläpp kommer att innebära att statsstödet reduceras i motsvarande omfattning."*⁸⁷ Företaget som säljer

⁸³ Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt

⁸⁴ Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783

⁸⁵ 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

⁸⁶ 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

⁸⁷ 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

certifikatet på den frivilliga marknaden erhåller då ingen egentlig intäkt så länge beloppet är lägre än, eller lika stort som uppbyret statsstöd.

Energimyndigheten tolkar reglerna som att alla minusutsläpp som genereras och finansieras 'privat' av ett företag skall tillgodoräknas svenska mål ända tills Sveriges åtaganden under Parisavtalet har uppfyllts.⁸⁸ Det innebär att även om Skövde Energi finansierat avskiljningen av minusutsläpp utan statliga medel kommer de inte kunna sälja dem på en frivillig marknad till ett företag som önskar kompensera för sina egna koldioxidutsläpp.

Projektgruppen med många andra företag i energi- och avfallsbranschen har reagerat på Energimyndighetens rapport och uttalanden eftersom företagen sedan en tid tillbaka argumenterat för en lösning där den som avskiljer koldioxiden också skall bli "ägare" till minusutsläppet. Detta ägarskap har översatts till en rätt att fritt förfoga över utsläppet på en frivillig marknad. Sådan position förespråkas till exempel av företaget Stockholm Exergi⁸⁹. De menar att stater såsom Sverige kan redovisa utsläppen på mellanstatlig nivå och att samma utsläpp kan användas av ett företag för försäljning på frivillig marknad mellan privata aktörer.

Frågan är inte slutligt avgjord, men vissa företagsröster har nämnt att den lösning som väljs av Sverige och andra länder för att lösa ovanstående problem kommer att vara det som avgör om några minusutsläpp kommer till stånd överhuvudtaget.

Norges Miljødirektorat har i en rapport över koldioxidavskiljning⁹⁰ tolkat regelverket annorlunda. De menar att de två redovisningssystemen, ett mellanstatligt och ett mellan privata aktörer, inte har gemensamma beröringspunkter och det därför inte blir dubbla anspråk. Miljødirektoratet skriver:

*"Virksomhetene som kjøper karbonfjerningskreditter, vil rapportere dette i sine klimagassregnskap. Virksomhetene rapporterer på egne direkte utslipp (scope 1), indirekte utslipp fra energibruk (scope 2) og utslipp fra resten av verdikjeden (scope 3). Dette systemet er uavhengig av nasjonale utslippsregnskap, som har en geografisk avgrensing. Det at en virksomhet er med å finansiere karbonfjerning gjennom kjøp av VCM-kvoter innebærer dermed ikke dobbelttelling av utslipp, men telling i to ulike systemer. På engelsk brukes begrepene co-financed og co-claimed for å tydeliggjøre dette."*⁹¹

För Skövde Energi innebär detta att det i dagsläget inte är tydligt hur infångad koldioxid skall tillgodoräknas företaget och hur certifikaten skall kunna användas. Avskiljning av koldioxid och permanent geologisk lagring är en mer kostsam metod att binda koldioxid än koldioxidinbindning i biomassa. Projektgruppens bedömning är att det i dagsläget är oklart om Bio-CCS kommer att bli en högre värderad kolsänka och därmed få mer betalt per ton minusutsläpp.

⁸⁸ Nätverksträff arrangerad av Klimpo med Energimyndigheten som gästtalare, 2023-03-13

⁸⁹ s 47 ff, Stockholm Exergi, Yttrande över remissen M2021/00822 av Första, andra, tredje ... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS (Em 2021:31) tillgänglig på regeringens hemsida här: <https://www.regeringen.se/contentassets/d232104ea40d4234a5ffde3fe7d48b37/stockholm-exergi.pdf>

⁹⁰ "Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler", Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023

⁹¹ s 4, "Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler", Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023

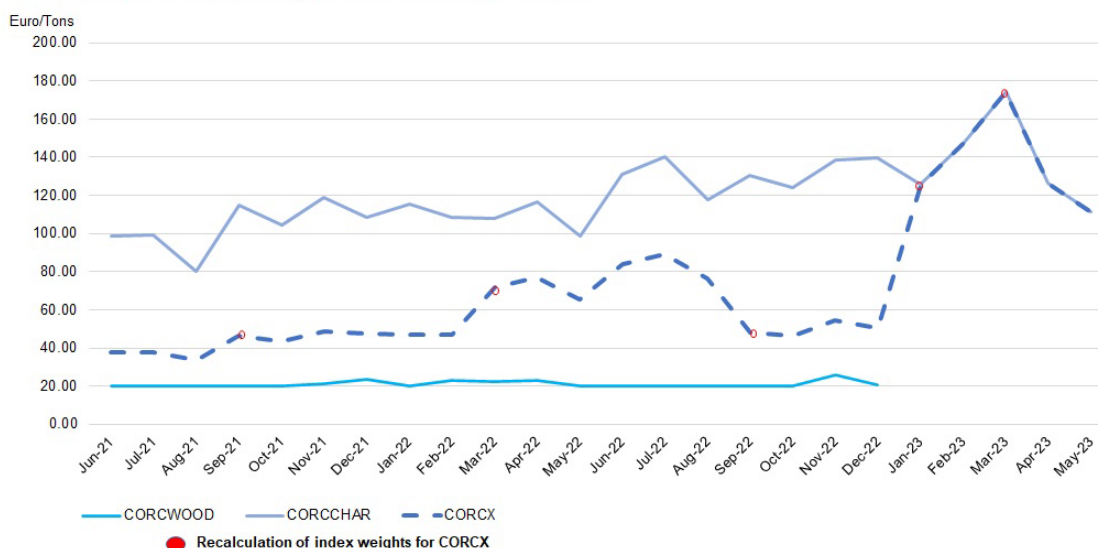
4.5.2 Försäljning av minusutsläpp

Företag som H&M, Klarna och Max hamburgare har tagit klimatpositiva initiativ och satt upp mål för att bli klimatpositiva. Microsoft ska bli klimatpositiva till år 2030 och har dessutom som mål att kompensera för alla utsläpp som de givit upphov till år 2030. För att nå klimatmålet gör företagen först en klimatkartläggning för en förståelse för organisationens klimatpåverkan. Sedan görs insatser för att reducera sina utsläpp. Även om en organisation uppnår klimatneutralitet med utsläppsminskningar erfordras kompletterande åtgärder i form av kolsänkor eller inköp av kolkrediter för att uppnå klimatpositivt. Skövde Energi blir ett kolsänkeföretag om de installerar Bio-CCS och de kan då sälja sina minusutsläpp som kolkrediter.

Konsumenter kan köpa klimatpositiva produkter och tillgodoräkna minusutsläppen i egna utsläppsrapporeringen. Till exempel kan ett bostadsbolag köpa klimatpositiv fjärrvärme från Skövde Energi och tillgodoräkna minusutsläppen för att nå egna mål om klimatpositivt. Det pågår just nu en uppbyggnad kring ramvillkor samt regelverk av denna typ av handel med kolkrediter, men idag är den inte fastställd. Dock har flera handelsplatser dykt upp för handel med kolkrediter från främst biokol. Till exempel har Nasdaq höga ambitioner att skala upp den globala marknaden för kolkrediter. De har bland annat investerat i det finska bolaget Puro.earth som är en marknadsplats för kolkrediter så kallade ”Corcs”, CO₂ Removal Certificates.

Biokol är en kolsänka och används idag som bland annat jordförbättringsmedel. Genom att biokolen användas i mark lagras kolen i 150 – 5 000 år⁹² beroende på hur stabil biokolen är dvs hur snabbt den sönderfaller och bryts ned. Flera biokolsproducenter som exempelvis det svenska företaget Bussme annonserar ut sina Corcs (kolkrediter) hos Puro.earth till ett specifikt pris. Certifikaten kan därefter köpas av bolag i behov av att kompensera för sina utsläpp eller för att nå mål om klimatpositivt.

CO2 Removal Certificate Weighted Index Family (CORCX)



Figur 46 visar försäljningspriset på Corcs för biokol, Corcchar (Källa puro.earth)

⁹² <https://www.biokol.se/fakta-om-biokol/>

I Figur 49 ses försäljningspriset på Corcs för biokol. I februari år 2023 var priset som högst på ca 170 EUR per Corc. Sedan dess har priset på Corcs minskat, men enligt Bussme⁹³ är efterfrågan på kolkrediter stor och de får minst en förfrågan i veckan på kolkrediter. Dessutom skall det tas i beaktande att själva biokolen även säljs som produkt som jordförbättringsmedel och leverantören får även betalt för denna. Genom Bio-CCS lagras koldioxiden permanent, vilket den inte gör med biokolen men med biokol så fås även intäkter för en produkt.

För att en Bio-CCS-industri inte ska bli beroende av statligt stöd och samtidigt avlasta statsfinanserna så behövs det implementering av en frivillig marknad för minusutsläpp i den privata sektorn. Bokföringsreglerna av kolkrediterna behöver klarnas upp. Projektgruppen instämmer med Nasdaq⁹⁴, att målet är en global kolkreditmarknad och att vi tillsammans måste ta ett jättekliv och jobba för att få upp volymerna av minusutsläpp, allokera finansiering till projekt, hitta nästa generation köpare och skapa en trovärdig, transparent marknad med certifieringar och bra affärsmodeller.

4.5.3 Affärsmodell för Bio-CCS

Koldioxidavskiljning är ett nödvändigt verktyg för att möta Sveriges samt Europas klimatmål. En ny industri håller på att växa fram och med en ny industri så tillkommer också ny politik kring regelverk och ramvillkor. Tekniken för att avskilja koldioxid från rökgaserna på ett kraftvärmeverk är idag tillgänglig på den kommersiella marknaden. Politik kring regleringskrav och förmånliga finansieringssystem är under utveckling. Marknaden och industrin håller på att utvecklas vilket resulterar i en affärsmodell som i dagsläget skapar en viss otydlighet kring de rätta förutsättningarna för att tekniken ska vara företagsekonomiskt intressant. Beslut om investeringar inom Bio-CCS främjas av långsiktig tydlighet. Detta har resulterat i statliga styr- samt stödsystem för att främja teknikens införande och reducera utsläppen.

Marknadssegmentet blir idag alltmer medvetna om vikten av den nödvändiga omställningen för att nå klimatmålen. Att implementera nya affärsmodeller eller stärka existerande kommer att vara en del i omställningen framåt. För en Bio-CCS anläggning så skapas värden genom en reduktion av växthusgaser från atmosfären, unika produkter och försäljning av kolkrediter.

Att bygga en Bio-CCS anläggning påverkar affärsmodellen under följande faktorer:

- Mindre elproduktion
- Ökad fjärrvärmeproduktion
- Potential att stärka konkurrenskraft på existerande marknader (lokal fjärrvärme konkurrerar med andra uppvärmningsalternativ)
- Erbjuda klimatkompensation (Handel med minusutsläppskrediter)
- Unika produkter (Klimatpositiv Elproduktion & Fjärrvärmeproduktion)
- Minskade kostnader för utsläppshandelsystem EU ETS (gäller fossil andel)

En Bio-CCS anläggning har ett stort energibehov då anläggningen ska ta hand om stora volymer rökgaser. Minskad elproduktion är ett faktum, men att utvinna denna energi som går in i processen i

⁹³ Intervju med Carina Walle på Bussme, maj år 2023

⁹⁴ Intervju med Fredrik Ekström på Nasdaq Stockholm, feb år 2023

andra former som genom fjärrvärme är med dagens teknik fullt möjligt. För att ta vara på energin som används för att avskilja koldioxid så behövs ytterligare analyser och integreras i affärsmodellen.

Klimatpositiv fjärrvärme kommer att vara ett starkt varumärke i framtiden. Kommuner, företag och konsumenter blir alltmer medvetna om vilka åtgärder som behövs globalt för att minska klimatförändringar. En Bio-CCS anläggning skapar en unik produkt där konsumenterna kopplade till denna anläggning får värdeprodukter i form av klimatpositiv fjärrvärme och klimatpositiv elektricitet. Detta skapar en stärkt konkurrenskraft på den existerande marknaden. Genom att kunna erbjuda denna typ av värdeprodukt så kan det också finnas en förhöjd betalningsvilja bland konsumenter, framför allt då företag tar klimatpositiva initiativ genom att stödja en Bio-CCS anläggning.

Den 21 februari år 2023 så nådde för första gången priset 100 EUR/ton CO₂ inom EU ETS. Systemet bygger på att taket för utsläppsrätter och antal utsläppsrätter minskar inom systemet vilket driver upp priset.

4.5.4 Affärsmodell för en Bio-CCS-anläggning på Skövde Energi

Kostnadskalkyler har gjorts för en Bio-CCS-anläggning på Skövde Energi. Resultatet från alla arbetspaket har sammanställts och en nuvärdeskalkyl har gjorts. Antagna värden ses i Tabell 27.

Tabell 25 visar antagna värden i kostnadskalkylen

Pris på el	150	EUR/MWh
Pris på såld fjärrvärme	60	EUR/MWh
Kalkylränta	4	%
Inflation	2	%
Volym avskild koldioxid	127 000	ton
Investering	126 300 000	EUR
Avskrivningstid	20	år

Kostnadskalkylen utgör en resultatbudget över 20 år för en affärsmodell för Skövde Energi baserad på aminprocessen från studien. Den innefattar försäljningsvolym, priser, intäkter, kostnader och resultat för respektive år.

Rörelseintäkterna är uppdelade i fyra kategorier: intäkter från negativa utsläpp, fjärrvärme, el samt övrigt. Rörelsekostnaderna är uppdelat på driftkostnader för avskiljning samt transport.

NPV-värdet som visar nettonuvärdet av kassaflödet över tid blir positivt när priset för negativa utsläpp överstiger 121 EUR/ton CO₂. Adderas en grovt uppskattad investeringskostnad för en tågterminal på 12 000 000 EUR blir NPV-värdet positivt när priset för negativa utsläpp överstiger 127 EUR/ton CO₂.

Kostnadsestimeringar i studien baseras på information från teknikleverantörer och har en osäkerhetsnivå på ±30 % för kapitalkostnaden för avskiljningsanläggningen. Kostnader för transport delen har en osäkerhetsnivå på ±50 % då stora delar av värdekedjan inte finns idag. Genom att använda RMS för att beräkna den kombinerade osäkerheten så blir den cirka 40 %. Vilket innebär att för att få en positiv avkastning så behöver priset på den biogena koldioxiden vara mellan 121 – 170 EUR /ton CO₂.

5 Diskussion

Projektet startade i december år 2021. Världen var mitt i Covid-19-pandemin och att arbeta på distans var en vardag. Redan en kort tid in i projektet inträffade invasionen av Ukraina vilket satte världen i ännu en chock och en europeisk depression. Kriget påverkade även energimarknaden då tillgången på rysk gas avtog och insikten om det europeiska beroendet av rysk gas blev ett faktum. Energikrisen resulterade i höga energipriser vilket drabbade både företag och privatpersoner. Även materialpriserna och inflationen ökade kraftigt. Utöver detta påverkades leveranstider och ett tag var det brist på containrar. Trots världsläget har utvecklingen inom Bio-CCS varit enorm under projekttiden och förutsättningarna vid projektets start har ändrats markant under arbetet. Detta finner projektgruppen som positivt då vi vill vara en del av lösningen på klimatutmaningen.

Initialt träffades gruppen via video och det första fysiska mötet var i maj år 2022. Projektgruppen har sedan dess haft återkommande träffar både hela gruppen och delprojektgrupper. Vi har rest till Norge och sett testanläggningar för koldioxidavskiljning och vi har hållit i flera föreläsningar för att berätta mer om detta projekt – Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS i Skövde.

Projektgruppen har kommit fram till att det finns lokala förutsättningar för att bygga en Bio-CCS-anläggning med Skövde Energis förutsättningar och med det positiva genomslag bland kunder som projektet fått. Förstudien har kommit fram till att det, med dagens förutsättningar, mest rimliga och kostnadseffektivaste alternativet för Skövde Energi är att gå vidare med en aminprocess där koldioxiden transporteras till slutlagring via rörledning, tåg och fartyg. Prisintervallet för att avskilja och lagra ett ton koldioxid från både Block 3 och Block 4 är mellan 121 – 170 EUR. För att uppnå en positiv ekonomisk kalkyl för en Bio-CCS-anläggning krävs att kostnaden för en kolkredit överstiger avskiljningskostnaden. En frivillig marknad växer fram för kolkrediter. Idag i maj år 2023 är priset på en kolkredit från biokol ca 110 EUR/ton CO₂. Samtidigt ökar priserna inom EU ETS på utsläppsrätter som nått nivåer på 100 EUR/ton CO₂ under projekttiden. Dessa priser är dock fortsatt för låga för företag som Skövde Energi för att ta ett investeringsbeslut för Bio-CCS. Omvända auktions förfarandet för minusutsläpp från Bio-CCS skall enligt Energimyndigheten starta i år, dock kommer det endast att ge stöd till ca 10 miljoner ton minusutsläpp under år 2026 till år 2045. Projektgruppens bedömning är att det initialt behövs en fungerande frivilligmarknad för att fler Bio-CCS-projekt startar före år 2030. Att ett motsvarande EU ETS-system utvecklas för minusutsläpp är ett måste för en global Bio-CCS-satsning.

Utvecklingen går snabbt framåt både inom teknik och lagring. Projektgruppen har kommit fram till att större volymer koldioxid innebär lägre kostnader genom hela värdekedjan. Dock sker en utveckling av modulbaserade avskiljningstekniker med lägre Capex. Även samarbete med andra aktörer är fördelaktigt för kostnadseffektiv transport.

Projektgruppen har haft flera kunddialoger och genomfört en marknadsundersökning. Projektet har mottagits positivt och flera lokala aktörer vill vara delaktiga i en satsning på klimatpositiv fjärrvärme! Projektgruppen har fått en fördjupad kunskap inom Bio-CCS och har stärkt sin övertygelse att Bio-CCS både kan och bör vara en del av lösningen på klimatutmaningen.

6 Referenslista

1. M.R. Bohloul , S.M. Peyghambarzadeh 2014 Experimental and analytical study of solubility of carbon dioxide in aqueous solutions of potassium carbonate 169-175
2. Wenyi Zhong Joanna D. Haigh (2013) The greenhouse effect and carbon dioxide 100-105
3. Edward S R., Hari M., Aaron M., Peter V., John K., The outlook for improved carbon capture technology 4-7
4. CO2 Capture Technologies - Section 3_3_ (globalccsinstitute.com)
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. Yukun Hu (2011) CO2 capture from oxyfuel combustion power plants
7. Anusha K.(2010) Carbon dioxide Capture by chemical absorption: A solvent comparison study
8. Tohid B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Wan A., Zainuddin M., CO2 capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review
9. 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
10. Jennifer W., Reza H., Erik C. R., Jiajun H., Kyoungjin L., (2014) Advancing Adsorption and Membrane-Separation Processes for the Gigaton Carbon Capture Challenge
11. Hamida A. AR., A rate-based model for the design and simulation of a carbon dioxide absorber using the hot potassium carbonate process
12. R. Ben-Mansour, M.A. Habib., O.E. Bamidele, M. Basha, N.A.A. Qasem, A. Peedikakkal, T. Laoui, M. Ali (2015) Carbon capture by physical adsorption: Materials, experimental investigations and numerical modeling and simulations – A review
13. Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R.(2014)Membrane-based carbon capture from flue gas: a review
14. Seyed M. S., L. K., Larry L B., John H., (2015) Investigating the Impact of Cryogenic Carbon Capture on Power Plant Performance
15. 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
16. Tohid N. G. B., Abbas A., Vahid A., Sharifah R., Zainuddin A M.(2015) CO2 capture with potassium carbonate solutions: A state-of-the-art review
17. Patent US1783901A R. R Bottoms - Process for separating acidic gases
18. Degradation of MEA; a theoretical study (sciencedirectassets.com)
19. Li-Chiang L., Adam H. B., Richard L. M., Jihan K., Joseph A. S., Kuldeep J., Chris H. R.,e a(2012)In silico screening of carbon-capture materials | Nature Materials 633
20. Yuan W., Li Z., Alexander O., Martin R., Detlef S., (2017) A Review of Post-combustion CO2 Capture Technologies from Coal-fired Power Plants 653-654 A Review of Post-combustion CO2 Capture Technologies from Coal-fired Power Plants (sciencedirectassets.com)
21. 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

22. Kåre G., Ramiar S.V., Stefan G., Fabian L., Cecilia S., (2021) BECCS with combined heat and power: Assessing the energy penalty
23. Ola A., Barath B., Sanjay D., Steve B., Peter S., Michael B., Olaf S., (2017) Chilled Ammonia Process Scale-up and Lessons Learned 5593-5615
24. Victor D., Kaj T., Willy J M W., Erling H S., (2009)Chilled ammonia process for CO2 capture (sciencedirectassets.com) Chilled ammonia process for CO2 capture (sciencedirectassets.com)
25. John C. Mankins (1995) Technology Readiness Levels Office of Space Access and Technology
26. Arena (2014) Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors
27. Eni O., Meihong W., Atuman S Joel., (2017) Current status and future development of solvent-based carbon capture
28. 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
29. Ivan Maric (2005) The joule-Thomson effect in natural gas flow - rate measurements
30. S. Wang, J. Hovland and R. Bakke (2013) Anaerobic degradation of carbon capture reclaimers MEA waste
31. Alireza Bahadori (2014) Natural Gas Sweetening
32. 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.
33. För år 2021 var den fossila andelen i avfallet 39,88%.
34. Befintliga detaljplaner <https://karta.skovde.se/linkdokument/planbest/dp510.pdf>
35. Anläggningen omfattas därmed även av kraven under industriutsläppsförordningen (2013:250), såsom 23 § (statusrapport).
36. s. 4, Remissvar från Vattenfall AB avseende Energimyndighetens rapport "Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS", 2022-03-31.
37. Vägledning för stora förbränningsanläggningar, s. 10-12, Naturvårdsverket, 2020-02-06, v 1
38. Europaparlamentets och Rådets förordning (EG) nr 1272/2008 av den 16 december 2008 om klassificering, märkning och förpackning av ämnen och blandningar, ändring och upphävande av direktiven 67/548/EEG och 1999/45/EG samt ändring av förordning (EG) nr 1907/2006.
39. Koldioxid, Carbon dioxide CAS no. 124-38-9, EC no 204-696-9
40. EUs Classification and Labelling Inventory där koldioxid har Hazard Statement Codes: H280 alt H281
41. 13 § Sevesolagen
42. Räddningstjänsten Skaraborg, <https://www.rtjskaraborg.se/privatperson/seveso-anlaggningar/>
43. Ammoniak vattenfri, CAS no. 7664-41-7, EC no 231-635-3
44. s. 4, Remissvar från Vattenfall AB avseende Energimyndighetens rapport "Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS", 2022-03-31.
45. Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06
46. s 12-13, ibid.
47. s 14, ibid.
48. s 33, ibid.

49. Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19
50. Se nyhet på Stockholm Exergis hemsida den 3 april 2023.
<https://www.stockholmexergi.se/nyheter/stockholm-exergi-tar-nasta-steg-ansoker-om-miljotillstand-for-bio-ccs/>
51. s 7, ibid.
52. Energimyndighetens beslut avseende programprojektet ”Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS”, daterat 2021-12-28.
53. Large-scale CO2 hub in the Port of Gothenburg samt Christoffer Lillhage, Göteborgs Hamn.
54. Stockholm Norvik Hamn möjligt CCS-nav och viktig pusselbit för att nå nationella klimatmål - stockholmshamn.se
55. Intervju med Martin Rödén mars 2020, Captimise
56. Intervju med Elise Rock januari år 2020, Northern Lights
57. Enligt sgu.se
58. Enligt sccs.org.uk
59. Källa: alterainfra.com
60. Enligt uppgift från Captimise
61. Enligt uppgift från Captimise
62. Enligt uppgift från Captimise
63. 2 § Lag (SFS 2006:263) om transport av farligt gods
64. 7 § och 8 § ledningsrättslagen.
65. 44 § väglagen (1971:948).
66. Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:
<https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/tillstand/ledningsarenden-inom-mark-och-jarnvag/>
67. 2.9.2, Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)
68. Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid och ändring av rådets direktiv 85/337/EEG, Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG och 2008/1/EG samt förordning (EG) nr 1013/2006
69. Artikel 17 ff, Direktiv 2009/31/EG
70. International Maritime Organisation (IMO), 1996 Protocol to the Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter 1972
71. Möte LC 41/LP 14, oktober 2019.
72. Regeringen, Infrastrukturdepartementet, Uppdrag att vara nationellt centrum för avskiljning och lagring av koldioxid samt ta fram ett förslag till avtal, 2020-12-22, Referens: I2020/03419
73. 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
74. Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser
75. 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)
76. s. 37 (s. 40), Regeringens proposition 2020/21:27 Nytt regelverk för handel med utsläppsrätter och artikel 16 utsläppshandelsdirektivet.
 77. 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
 78. 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
 79. Naturvårdsverket, Preliminär överenskommelse om förändringar i EU ETS, 2022-12-23 <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/utslappshandel/preliminar-overenskommelse-om-forandringar-i-eu-ets/>
 80. 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
 81. Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten
 82. s. 6, Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten.
 83. Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt
 84. Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783
 85. 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

6.1 Svensk lagstiftning och myndighetsföreskrifter

Miljöbalk (SFS 1998:808) (MB)

Lag (SFS 1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvariga kemikalieolyckor (Sevesolagen)

Ledningsrättslag (SFS 1973:1144)

Lag (SFS 1978:160) om vissa rörledning

Väglagen (SFS 1971:948)

Lag (SFS 2006:263) om transport av farligt gods

Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser

Lag (SFS 1966:314) om kontinentalsockeln (KSL)

Lag (SFS 2010:598) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen

Miljöprövningsförordning (SFS 2013:251) (MPF)

Miljöbedömningsförordning (SFS 2017:966)

Förordning (SFS 2013:252) om stora förbränningsanläggningar (FSF)

Förordning (SFS 2013:253) om förbränning av avfall (FFA)

Avfallsförordning (SFS 2020:614)

Industriutsläppsförordningen (SFS 2013:250)

Förordningen (SFS 2006:311) om transport av farligt gods

Förordning (SFS 2015:236) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor

Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser

Förordningen (2014:21) om geologisk lagring av koldioxid

MSBFS (2020:9) föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S)

MSBFS (2022:4) föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg (RID-S 2023).

Arbetsmiljöverkets föreskrifter om användning och kontroll av trycksatta anordningar (AFS 2017:3)

Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)

6.2 EU lagstiftning

Europaparlamentets och Rådets förordning (EG) nr 1272/2008 av den 16 december 2008 om klassificering, märkning och förpackning av ämnen och blandningar, ändring och upphävande av direktiven 67/548/EEG och 1999/45/EG samt ändring av förordning (EG) nr 1907/2006 (CLP)

Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid och ändring av rådets direktiv 85/337/EEG, Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG och 2008/1/EG samt förordning (EG) nr 1013/2006 (CCS direktivet)

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 (utsläppshandelsdirektivet)

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)

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 (LULUCF-förordningen)

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

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor

Internationella överenskommelser

International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG-koden)

International Maritime Organisation (IMO), Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter

International Maritime Organisation (IMO), 1996 Protocol to the Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter 1972

International Maritime Organisation (IMO), Beslut LC 41/LP 14

6.3 Övrigt

Energimyndigheten, Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31. Finns tillgänglig på:

<https://www.regeringen.se/contentassets/d232104ea40d4234a5ffde3fe7d48b37/forsta-andra-tredje-forslag-pa-utformning-av-ett-stodsystem-for-bio-ccs.pdf>

Stockholm Exergi, Yttrande över remissen M2021/00822 av Första, andra, tredje ... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, (Em 2021:31) tillgänglig på regeringens hemsida här:

<https://www.regeringen.se/contentassets/d232104ea40d4234a5ffde3fe7d48b37/stockholm-exergi.pdf>

Norges Miljødirektoratet, Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler, 10 mars 2023

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

Vattenfall AB Värme Drevviken – Jordbro Kraftvärmeverk, Underlag till samråd angående tillståndsansökan enligt miljöbalken till fortsatt och utökad verksamhet vid befintliga anläggningar vid Jordbro kraftvärmeverk och uppförande och drift av en koldioxidinfångningsanläggning i anslutning till det befintliga kraftvärmeverket, Samrådsunderlag Vattenfall, Björn Svensson, 2022-09-06

Vattenfall AB, Remissvar avseende Energimyndighetens rapport ”Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS”, 2022-03-31.

Tillgängligt på <https://www.regeringen.se/remisser/2021/12/remiss-av-energimyndighetens-rapport-forsta-andra-tredje-forslag-pa-utformning-av-ett-stodsystem-for-bio-ccs/>

Naturvårdsverket, Vägledning om stora förbränningsanläggningar, Förordningen (2013:252) om stora förbränningsanläggningar, bestämmelser som genomför kapitel III i industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU), v1, 2020-02-06

Regeringens proposition 2020/21:27 Nytt regelverk för handel med utsläppsrätter

Regeringen, Infrastrukturdepartementet, Uppdrag att vara nationellt centrum för avskiljning och lagring av koldioxid samt ta fram ett förslag till avtal, 2020-12-22, Referens: I2020/03419

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

Europeiska Kommissionen, Förslag till Europaparlamentets och rådets direktiv om ändring av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001, Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1999 och Europaparlamentets och rådets direktiv 98/70/EG vad gäller främjande av energi från förnybara energikällor och om upphävande av rådets direktiv (EU) 2015/652, COM (2021) 557 final

7 Ordlista

- **Bio-CCS**
Bioenergy Carbon Capture and Storage. Avskiljning och lagring av biogen koldioxid. Även namngivet BECCS.
- **Biobränsle**
Bränsle framställt av biomassa.
- **Biogena utsläpp**
Koldioxidutsläpp med biogent ursprung.
- **Biokraft**
El producerad av biobränslen och den biogena delen av avfall.
- **CCS**
Carbon Capture and Storage. Avskiljning och lagring av koldioxid.
- **CCU (Carbon Capture and Utilisation)**
Avskiljning av koldioxid för användning av koldioxiden.
- **Energiproduktion**
(Effekt x tid) mäts i wattimme eller motsvarande enhet (kWh, MWh, GWh, TWh) och visar den totala energileveransen under en bestämd tidsperiod.
- **EU-ETS**
EUs styrmedel för handel med utsläppsrätter (ETS = Emission trading scheme).
- **Fossila utsläpp**
Koldioxidutsläpp från fossila bränslen som tex kol, bensin, plaster.
- **Fjärrvärme**
Produktion och distribution av värme i värmenät som omfattar en hel stad, tätort eller bostadsområde.
- **Klimatpositiv fjärrvärme**
Skövde Energi har som mål att bli klimatpositivt år 2030. Nu utreder Skövde Energi möjligheterna för koldioxidinfångning för att bli klimatpositiva genom minusutsläpp. De minusutsläpp som Skövde 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 Skövde Energi möjliggöra klimatomställningen.
- **Hållbara biobränslen**
Biobränslen som uppfyller kraven i EU:s hållbarhetskriterier och den svenska hållbarhetslagen.
- **Hållbarhetskriterier**
Villkor för biobränslen som finns angivna i EUs Förnybartdirektiv.

- **Industriklivet**
Statligt stöd till klimatåtgärder i industrin.
- **IPCC**
FN:s klimatpanel. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- **Klimatklivet**
Statligt stöd till klimatåtgärder som administreras av Naturvårdsverket och länsstyrelserna.
- **Koldioxid**
CO₂, den mest betydelsefulla växthusgasen.
- **Koldioxidskatt**
Skatt på fossila bränslen i relation till deras utsläpp av koldioxid vid förbränning.
- **Kraftvärmeverk**
Värmeverk som också är utrustad med turbin för elproduktion.
- **Minusutsläpp, Negativa utsläpp / Klimatpositivt**
Sverige har som mål att bli klimatpositivt år 2045. Det innebär att Sverige först skall bli klimatneutrala för att sedan satsa på att fånga in och lagra koldioxid. Man kan säga att man städar atmosfären på koldioxid och på så sätt genererar minusutsläpp, vilket innebär klimatpositivt.
- **Parisavtalet**
FN:s klimatavtal.
- **Utsläppshandel (ETS)**
Handel med utsläppsrätter, som företag måste ha i relation till sina utsläpp av fossil koldioxid. (ETS = Emission trading scheme).
- **Värmeverk**
Produktionsanläggning för fjärrvärme.
- **Växthusgas**
Gas som påverkar klimatet tex växthusgaserna är koldioxid, metan och lustgas.