



# BioCCS i det smarta energisystemet i Falun

## SLUTRAPPORT

1 (111)

Datum  
2024-02-29

Dnr

Projektnr  
P2022-00591

Energimyndighetens titel på projektet – svenska BioCCS i det smarta energisystemet i Falun	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska BioCCS in the smart energy system in Falun	
Universitet/högskola/företag Klimatpositivt & Kolsänkor AB (KLIMPO), Falu Energi och Vatten AB	Avdelning/institution -
Adress -	
Namn på projektledare Richard Unger	
Namn på ev övriga projektdeltagare Kristofer Pettersson, Malin Fredriksson, Karolina Unger, Catarina Hästesko, Florence Berg, Lars Runevad, Daniel Widman, Margareta Eriksson, Katarina Widén, Mathias Bjurman	
Nyckelord: 5-7 st Bio-CCS, koldioxidavskiljning, negativa utsläpp, klimatpositiv fjärrvärme	

## Förord

Förstudien *BioCCS i det smarta energisystemet i Falun* har finansierats av Statens energimyndighet, Falu Energi & Vatten AB och Klimpo Klimatpositivt & Kolsänkor AB. Statens Energimyndighet har beviljat projektet 2 486 500 SEK i stöd vilket motsvarar 50 procent av stödgrundande kostnader. Projektet genomförs inom ramen för uppdraget Industriklivet, förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning. Projektet utfördes mellan augusti år 2022 till december år 2023.

Falun vill bli en fossilfri kommun där det är lätt att leva energiintelligent med liten klimatpåverkan. Senast år 2035 skall hela kommunen vara fossilbränslefri och målet är ett klimatneutralt Dalarna år 2045.

Falu Energi & Vatten är ett företag i framkant och en förebild i branschen med målet att vara fossilfria år 2025. Med stort engagemang och med hållbarhet i fokus utvecklar Falu Energi & Vatten samhället. För att det ska vara möjligt behöver företaget fortsätta att utvecklas, använda effektiv, ny teknik och samarbeta med andra.

Som en del i detta vill Falu Energi & Vatten utreda möjligheten att etablera en fullskalig anläggning för avskiljning av koldioxid (BioCCS) vid kraftvärmeverket Västermalmsverket. Potentialen är att avskilja ca 140 000 ton/år biogen koldioxid, vilket motsvarar ca 7 % av vad Sverige, enligt det klimatpolitiska ramverket, får kompensera genom negativa utsläpp till år 2030 i syfte att nå målet om nettonollutsläpp år 2045.

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

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	7
Summary .....	9
Inledning .....	11
Projekt mål .....	11
Genomförande .....	11
AP1 - Teknik för koldioxidavskiljning och förvätskning .....	12
AP2 - Tillstånd för BioCCS- anläggning .....	12
AP3 - Kommunikation .....	12
AP4 - Logistik och transportmöjligheter .....	12
AP5 - Finansiering och affärsmodell .....	12
Resultat .....	13
AP1 Teknik .....	13
El- och fjärrvärmeproduktion .....	15
Lastprofil .....	15
Rökgassammansättning .....	16
Koldioxidavskiljning .....	17
Avskiljningstekniker .....	18
Pre Combustion .....	18
Oxy-Fuel .....	18
Post-Combustion .....	18
Kemisk absorption .....	19
Kryogen teknik .....	20
Adsorption .....	20
Teknikutveckling .....	20
Förvätskning .....	21
Avskiljningstekniker .....	21
MEA .....	22
HPC .....	23
Joniska vätskor .....	25
Membranteknik .....	27
Mass- och energibalanser .....	27
Processmodellering .....	28
Resultat mass- och energibalans MEA .....	29
Energiprofil MEA .....	30
Resultat mass- och energibalans HPC .....	31
Energiprofil HPC .....	31
Resultat mass-och energibalans Joniska vätskor .....	32
Energiprofil Joniska vätskor .....	32
Värmeåtervinning .....	33
Sammanfattning energibehov .....	33
Kostnadsberäkningar .....	35
Resultat kostnader .....	36
Kostnader MEA .....	36
Kostnader HPC .....	37
Kostnader Joniska vätskor .....	38

Jämförelse av kostnader .....	40
Anläggningsyta .....	41
Spillvärme från Ecodatacenter .....	42
Utvärdering .....	43
Diskussion.....	44
Rekommendation .....	46
AP2 Tillstånd .....	46
Kraftvärmeverket Västermalmsverket .....	46
Miljötillstånd och villkor .....	47
Koldioxidutsläpp från Västermalmsverket .....	47
Bygglov för avskiljningsanläggningen .....	47
Miljötillstånd för avskiljningsanläggningen .....	48
Nytt tillstånd eller ändringstillstånd.....	48
Prövningsinstans .....	49
Miljöbedömning.....	49
Villkor i miljötillståndet.....	49
Koldioxidutsläpp.....	49
Lager för avskild koldioxid.....	49
Mätpunkter.....	50
Buller .....	50
Avfall och restprodukter .....	50
Sevesolagstiftning .....	51
Kemikalier för avskiljningsprocessen.....	52
Omvärldsbevakning: Pågående tillståndsprocesser .....	52
Vattenfall AB – Jordbro.....	53
Stockholm Exergi – Värtahamnen.....	53
Söderenergi – Igelstaverket .....	54
Diskussion.....	56
Genomförande .....	57
Dialograpport .....	58
Stärkt varumärket Falu Energi & Vatten .....	58
Ökad förståelse och kunskap om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme .....	58
Kunddialog, analys av intresse för klimatpositiv fjärrvärme.....	59
Tillvägagångssätt och respondenter.....	59
Resultat, sammanfattning av Kunddialoger.....	61
Rekommendation .....	63
Det lokala perspektivet .....	64
AP4 Transport och logistik .....	64
Logistikkedjan .....	65
Mellanlager .....	65
Lastbil .....	66
Rörledning .....	67
Tåg .....	68
Hamnar och kluster .....	69
The CCS Mid Norway Cluster.....	70
Gävle Hamn .....	71
Fartyg .....	72

Lagringsplatser.....	73
Lagringspotential i Norden .....	74
Internationella Lagringsområden .....	74
Exempel på lagringsaktörer .....	74
Northern Lights .....	75
Horisont Energi.....	75
Project Greensand .....	75
CarbonCuts .....	75
Carbfix .....	76
Endurance .....	76
Storegga .....	76
Stella Maris (Altera Infrastructure).....	77
Kostnadsanalys permanent lagring .....	77
Säkerhetsaspekter och risker.....	77
Falu Energi & Vatten .....	78
Mellanlager Västermalmsverket .....	79
Logistikkoncept 1 .....	80
Logistikkoncept 2 .....	81
Logistikkoncept 3 .....	82
Logistikkoncept 4 .....	83
Tågterminal .....	84
Hamn.....	84
Fartyg.....	85
Lagringsplatser.....	85
Kostnadssammanställning .....	85
Regler för transport .....	86
Lastbil .....	86
Tunnelrestriktioner.....	87
Järnväg.....	88
Rörledning .....	88
Båt.....	89
Export av koldioxid till en lagringsplats utanför Sveriges gränser.....	89
Transport av avfall .....	90
Regler för slutlig lagring .....	90
Diskussion.....	90
Rekommendation .....	91
AP5 Finansiering och affärsmodell .....	92
Omvärldsbevakning: Lagstiftning relaterat till koldioxidavskiljning.....	92
ETS – Handel med utsläppsrätter .....	92
CRCF förordningen .....	94
Ny EU strategi för industriell koldioxidhantering – avskiljning, användning och lagring av koldioxid .....	95
Omvända auktioner i Sverige .....	95
Bokföring, rapportering och disposition av negativa utsläpp i Sverige.....	96
Försäljning av minusutsläpp .....	98
Affärsmodell för BioCCS .....	99
Affärsmodell för en Bio-CCS-anläggning på Falu Energi & Vatten.....	100

Diskussion.....	101
Rekommendation .....	103
Referenslista.....	103
Bilagor .....	111

## Sammanfattning

Denna förstudie har utrett potentialen till att etablera en fullskalig anläggning för avskiljning av koldioxid (BioCCS) vid kraftvärmeverket Västermalmsverket hos Falu Energi & Vatten (FEV). Detta som en del i det smarta cirkulära energisystemet i Falun. Potentialen på Västermalmsverket är att avskilja ca 140 000 ton biogen koldioxid årligen, vilket motsvarar ca 7 % av vad Sverige, enligt det klimatpolitiska ramverket, får kompensera genom negativa utsläpp till år 2030 i syfte att nå målet om nettonollutsläpp år 2045.

I projektet har teknikalternativ för koldioxidavskiljning med förvätskning, logistik och lagring av koldioxid samt erforderliga tillstånd utretts. Projektet har även omfattat kommunikation och initiering av nödvändiga samarbeten. Projektet har resulterat i ett underlag och en affärsmodell för att i kommande projektsteg kunna starta detaljprojektering för en BioCCS-anläggning.

Att avskilja, transportera och lagra koldioxiden hos Falu Energi & Vatten från både KVV1 och KVV2 beräknas kosta mellan 1370–1920 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Investeringskostnaden för en avskiljningsanläggning uppgår till ca 421 MSEK och till det tillkommer löpande kostnader för drift, energianvändning samt transporter och lagring. Fördjupad optimering och integrering kan ge förutsättningar för en lägre energianvändning och modullösningar kan sänka investeringskostnaderna vilket kan minska den totala kostnaden för att avskilja koldioxiden ytterligare. Kluster och samarbeten med andra aktörer där volymer CO<sub>2</sub> aggregeras har potential att vidare minska den totala kostnaden för transport och lagring.

Resultatet av studien visar på betydande tekniska och ekonomiska skillnader bland de tre olika scenarios inkluderade i studien samt mellan de olika jämförda avskiljningsteknikerna MEA, HPC, Joniska vätskor och Membran.

MEA-tekniken uppvisar en imponerande avskiljningsgrad på 97,6 % av CO<sub>2</sub> med relativt låg elanvändning per ton avskild CO<sub>2</sub>. Med en etablerade status anser studien MEA vara en mogen teknik med lågt risktagande. MEA-tekniken har även ett större reglerområde och klarar av lastvariationer bättre än HPC-tekniken vilket anses betydande för FEV och Västermalmsverket. Joniska vätskor uppfattas av projektgruppen visserligen som en lovande kommande teknik men då mognadsgraden vid denna tid är låg anses det inte rimligt att gå vidare med den för Falu Energi & Vatten.

Samtliga tekniker har ett omfattande energibehov till vilket hänsyn behöver tas för att minimera risker och förluster i befintliga affärsmodeller och produktion. Då tillgången till energi är begränsad utan att förlora befintliga intäkter är det därför viktigt att följa utvecklingen av mer energisnåla tekniker samt att eventuellt fortsätta med en djupare teknisk utvärdering.

Att Västermalmsverket ligger i inlandet innebär logistiska utmaningar som en kustnära anläggning inte har. Med sin placering i en större tätort med goda vägförbindelser, närhet till järnväg samt med en eventuell framtida möjlighet till permanent lagring på land visar studien på potential att överkomma dessa



utmaningar. Dock är det högst fördelaktigt om koldioxiden kan samtransporteras med andra aktörer.

Studien visar på att logistikkoncept 4, lastbil från avskiljningsanläggningen till tågterminal i Borlänge och vidare tågtransport till Danmark för lagring på land, innebär de lägsta operativa kostnaderna. Detta då behovet av omlastning under koldioxidens väg minimeras samt att behovet av fartygstransporter uteblir. Lagring på land i Danmark är ännu inte tillgängligt men under arbetet med denna studie har en tillståndsansökan för lagring på land i Danmark genomförts och 9 ansökningar om tillstånd behandlas nu av den danska staten. I studien har ett av dessa projekt använts som referensprojekt.

Då behovet och efterfrågan av e-bränslen, där avskild koldioxid är nödvändig för produktionen, redan är stor i Norden kan avskiljning av koldioxid för användning (BioCCU) vara en möjlighet under en uppstartsfas i väntan på utvecklingen av permanent lagring samt en marknad för negativa utsläpp.

För att uppnå projektmålen har projektgruppen genomfört utbildningsinsatser, dialog med kunder och branschkollegor samt spridit projektinformation både i fysisk och digital form. Beroende på syfte och målgrupp har olika kommunikationsmetoder tillämpats. Projektgruppen har delgett information till både interna och externa intressenter genom personliga möten, intervjuer, nätverksträffar, konferenser, studiebesök samt via webbplatser och sociala medieplattformar.

Projektgruppen rekommenderar att:

- Falu Energi & Vatten fortsätter följa utvecklingen av mer energisnåla tekniker samt att eventuellt fortsätta med en djupare teknisk utvärdering i syfte att minimera energibehovet för en avskiljningsanläggning.
- Den interna kommunikationen på Falu Energi & Vatten fortsätter i syfte att utbilda och skapa acceptans bland medarbetare.
- Påbörja samarbetsdialoger med närliggande utsläppare i syfte att aggregera volymer samt med lagringsaktörer, potentiella hamnar, rederier och logistikaktörer för ytterligare noggrannare kostnadsunderlag.

## Summary

This feasibility study has investigated the potential to establish a full-scale plant for carbon capture (BioCCS) at the combined heat and power plant Västermalmsverket at Falu Energi & Vatten (FEV). This is part of the smart circular energy system in Falun. The potential at Västermalmsverket is to capture about 140,000 tonnes of biogenic carbon dioxide annually, which corresponds to about 7% of what Sweden, according to the climate policy framework, is allowed to compensate through negative emissions by 2030 in order to achieve the goal of net zero emissions by 2045.

In the project, technology options for carbon dioxide capture with liquefaction, logistics and storage of carbon dioxide as well as the necessary permits have been investigated. The project has also included communication and initiation of necessary collaborations. The project has resulted in a basis and a business model to be able to start detailed design for a BioCCS plant in the coming project stages.

To capture, transport and store the carbon dioxide at Falu Energi & Vatten from both KVV1 and KVV2 is estimated to cost between 1370-1920 SEK / tonne of CO<sub>2</sub> with an investment cost of 421 million SEK. In-depth optimization and integration can provide the conditions for lower energy consumption and modular solutions can reduce investment costs, which can further reduce the total cost of capturing carbon dioxide. Clusters and collaborations with other actors where volumes of CO<sub>2</sub> are aggregated have the potential to reduce the overall cost of transport and storage.

The results of the study show significant technical and economic differences among the three different scenarios included in the study as well as between the different comparison of the separation technologies MEA, HPC, Ionic liquids and Membranes.

The MEA technology exhibits an impressive capture rate of 97.6% of CO<sub>2</sub> with relatively low electricity use per tonne of captured CO<sub>2</sub>. With an established status, the study considers MEA to be a mature technology with low risk. The MEA technology also has a larger control range and can handle load variations better than the HPC technology, which is considered significant for FEV and Västermalmsverket. Ionic liquids are perceived by the project group as a promising future technology, but since the degree of maturity at this time is low, it is not considered reasonable to proceed with it for Falu Energi & Vatten.

All technologies have an extensive energy requirement that needs to be taken into account in order to minimize risks and losses in existing business models and production. As access to energy is limited without losing existing revenues, it is therefore important to follow the development of more energy-efficient technologies and possibly to continue with a deeper technical evaluation.

The fact that the Västermalm plant is located inland poses logistical challenges that a coastal facility does not have. With its location in a larger urban area with good road connections, proximity to the railway and with a possible future possibility of permanent storage on land, the study shows potential to overcome

these challenges. However, it is highly advantageous if the carbon dioxide can be co-transported with other actors.

The study shows that logistics concept 4, truck from the separation plant to the train terminal in Borlänge and onward train transport to Denmark for storage on land, entails the lowest operational costs. This is because the need for transshipment along the path of carbon dioxide is minimized. Onshore storage in Denmark is not yet available, but during the work on this study, a permit application for storage on land in Denmark has been carried out and 9 applications for permits are now being processed by the Danish state. In the study, one of these projects has been used as a reference project.

As the need and demand for e-fuels, where captured carbon dioxide is necessary for production, is already high in the Nordic region, carbon capture for use (BioCCU) can be a possibility during a start-up phase pending the development of permanent storage and a market for negative emissions.

In order to achieve the project goals, the project group has carried out training initiatives, dialogue with customers and industry colleagues, and disseminated project information in both physical and digital form. Depending on the purpose and target group, different communication methods have been applied. The project group has provided information to both internal and external stakeholders through personal meetings, interviews, network meetings, conferences, study visits, as well as via websites and social media platforms.

The project team recommends that:

- Falu Energi & Vatten will continue to monitor the development of more energy-efficient technologies and possibly continue with a more in-depth technical evaluation in order to minimize the energy requirement for a separation plant.
- Internal communication at Falu Energi & Vatten continues with the aim of educating and creating acceptance among employees.
- Initiate collaborative dialogues with nearby emitters with the aim of aggregating volumes, as well as with storage operators, potential ports, shipping companies and logistics operators for further detailed cost data.

## Inledning

Statens energimyndighet har beviljat Falu Energi och Vatten AB 2 486 500 SEK i stöd vilket motsvarar 50 procent av stödgrundande kostnader för att under 2022-08-15 – 2023-12-31 genomföra projektet *BioCCS i det smarta energisystemet i Falun*. Projektet genomförs inom ramen för uppdraget Industriklivet negativa utsläpp. Beslutet har fattats med stöd av förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning.

Syftet med projektet är att utreda möjligheten att etablera en fullskalig anläggning för koldioxidavskiljning, BioCCS (Bioenergy Carbon Capture and Storage), vid kraftvärmeverket Västermalmsverket som en del i Faluns smarta cirkulära energisystem.

I projektet utreds teknikalternativ för koldioxidavskiljning med förvätskning, logistik och lagring av koldioxid, erfoderliga tillstånd samt kommunikation. Teknikutvärderingen skall utgå ifrån Faluns smarta energisystem och möjliga effektiva lösningar skall presenteras.

Resultatet av projektarbetet presenteras i en affärsmodell med ekonomiska investeringskalkyler samt identifiering av realistiska finansieringsalternativ.

## Projekt mål

Projektet har delats upp i följande delmål:

Delmål, AP1: Framtagit förslag på fyra olika tekniker för koldioxidavskiljning med olika typer av energilösningar och valt ut den som bedöms som mest lämpad för Västermalmsverket.

Delmål, AP2: Identifierat och utvärderat de tillstånd som krävs för en avskiljningsanläggning.

Delmål, AP3: Identifierat intressentgrupper och initierat viss dialog med samarbetspartner inom programmet "Ett smartare Falun", samt andra aktörer och kunder till Falu Energi & Vatten.

Delmål, AP4: Skapat en uppfattning om möjliga logistik- och transportlösningar från avskiljning av koldioxid till och med transport till hamn eller motsvarande. Identifierat aktörer för möjliga samarbeten inom transport.

Delmål, AP5: Tagit fram möjliga utfall för en affärsmodell som ligger i linje med Falu Kommuns långsiktiga strategi och mål. Identifierat risker och kostnader längs hela kedjan från avskiljning till koldioxidens slutdestination.

## Genomförande

Projektet är uppdelat i fem arbetspaket (AP1-AP5), vilka löper parallellt under projekttiden.

#### *AP1 - Teknik för koldioxidavskiljning och förvätskning*

Arbetspaketet omfattar tekniken från och med rökgasavskiljning till och med förvätskning. Anläggningsspecifika förutsättningar som rökgasanalyser, mass- och energibalanser, tillgängliga ytor och driftförhållanden utvärderas inom arbetspaketet. Fyra teknikalternativ för koldioxidavskiljning utvärderas, varav tre med processmodellering. Mass- och energibalanser utförs och teknikspecifika energilösningar presenteras. Inom projektet utreds även möjligheten att nyttja överskottsvärme från BioCCS-anläggningen för pelletsproduktion.

AP1 skall leverera en delrapport med energibehov för olika teknikalternativ, drift- och underhållskostnader, påverkan på kraftvärmeverkets mass- och energibalans samt eventuella andra nyckelfaktorer som framkommer av utredningen. I beräkningarna ingår även förvätskning av koldioxiden.

#### *AP2 - Tillstånd för BioCCS- anläggning*

Arbetspaketet ansvarar för att identifiera de tillståndsprocesser som är nödvändiga och kopplade till BioCCS-kedjans delar fram till förvätskning genom ett samarbete med teknikgruppen.

#### *AP3 - Kommunikation*

Arbetspaketet ansvarar för en intressentdialog gällande BioCCS på Västermalmsverket samt för en kunddialog om minusutsläpp för att få en indikation på intresset för minusutsläpp samt öka förståelsen för BioCCS och minusutsläpp.

Arbetspaketet skall om möjligt ha ett nära samarbete med programmet "Ett smartare Falun". Även andra aktörer skall identifieras och involveras minst en gång under projektets genomförande. Inom arbetspaketet skall också en plan för kompetensutveckling tas fram för anställda.

Delprojektet skall producera kommunikationsmaterial och artiklar eller annat som bedöms som nödvändigt för att kommunicera med de identifierade målgrupperna.

#### *AP4 - Logistik och transportmöjligheter*

Inom arbetspaketet identifieras vilka möjliga logistik- och transportlösningar som kan antas vara realistiska kopplade till kostnader. Arbetspaketet utreder möjliga transportsätt från kraftvärmeverket till hamn, exempelvis rörledningar eller tågtransport, samt från hamn till slutlagring. Arbetspaketet ansvarar för att initiera samarbeten kring logistik och mellanlagring av koldioxiden.

#### *AP5 - Finansiering och affärsmodell*

Arbetspaketet ansvarar för framtagande av en affärsmodell för Bio-CCS. Risker och kostnader identifieras längs hela kedjan från avskiljning till lagring av koldioxiden. Inom arbetspaketet följs utvecklingen av politik och styrmedel för BioCCS.

Resultatet från arbetspaketet redovisas med en hållbar affärsmodell som är i linje med Falu kommuns långsiktiga strategi och mål.

## Resultat

Projektarbetet inleddes i augusti 2022 och avslutades i december 2023. Projektet drevs av en projektgrupp med personer från Klimpo samt Falu Energi och Vatten. Under projektets gång har konsulter anlåtats, och flera företag, inklusive leverantörer och kunder, har varit delaktiga.

Sedan år 2022 har utvecklingen inom BioCCS varit stor. BioCCS har fått mer utrymme inom politiken både i Sverige och EU, fler förstudier och projekt har initierats nationellt och mer forskning har bedrivits inom området.

Under projekttiden har komplexa begrepp utvecklats till centrala verktyg för att möjliggöra uppfyllandet av ambitiösa klimatmål. En lovande ny klimatindustri börjar ta form, och under den intensiva projektperioden har både positiva möjligheter, och utmaningar tydligt framträtt.

Resultaten från varje arbetspaket, redovisade från AP1 till AP5, ger en fördjupad förståelse för BioCCS och hur en koldioxidinfångningsanläggning skulle kunna vara en del i det smarta energisystemet i Falun. Resultaten belyser tekniska, strategiska och operativa aspekter av BioCCS och utgör en grund för fortsatt arbete för en eventuell BioCCS-satsning i Falun.

## AP1 Teknik

I delprojektet AP1 teknik utvärderas den tekniska genomförbarheten för att avskilja och förvätska 140 000 ton biogen koldioxid årligen på Västermalmsverket i Falun.



**Figur 1** Västermalmsverket i Falun

På Västermalmsverket finns två bioeldade kraftvärmeverk, KVV1 och KVV2, för produktion av el och fjärrvärme, fyra mindre enheter för spetslastvärme, en pelletsfabrik och en absorptionskylmaskin för fjärrkylproduktion. Falu Energi & Vatten producerar årligen ca 50 000 ton pellets.

I kraftvärmeverk Block 1, KVV1, förbränns bark och GROT i en bubblande fluidbäddspanna (BFB). Pannan levererar ånga till turbinsystemet med ca 10,2 kg/s, 510 °C och 60 bar vid full drift. Total bränsleeffekt är på 35 MW och KVV1 har en årlig drifttid på ca 4700 h.

I Kraftvärmeverk Block 2, KVV2 förbränns bark, GROT (grenar och toppar) och returträ i en BFB. Total bränsleeffekt är 35 MW (ångdata 76 bar (a), 504 °C) och KVV2 har en årlig drifttid på ca 7700 timmar.

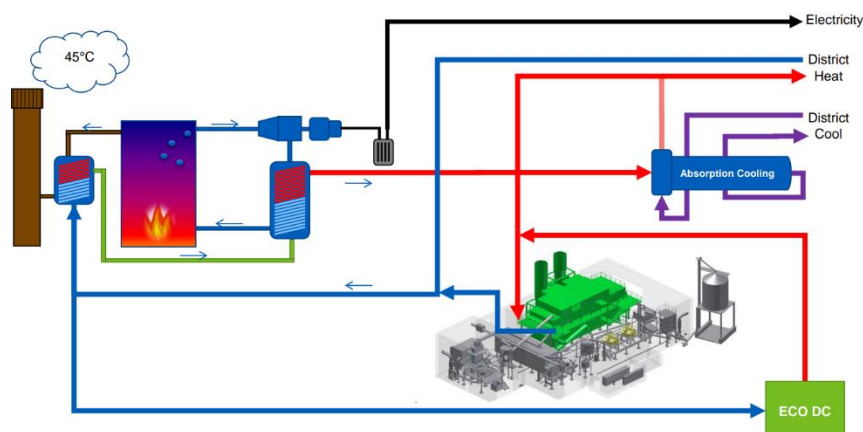
Både KVV1 och KVV2s rökgasrening sker med elfilter, rökgaskondensering och NO<sub>x</sub>-reducering med ammoniakinsprutning (SNCR). I rökgaskondenseringen renas kvarvarande försurningar i rökgaserna och värmen i rökgaserna återvinns. Granulärt svavel doseras tillförs i båda pannorna för att minimera bildandet av belägg och högtemperaturkorrosion på pannans värmeförande ytor.

I Tabell 1 ses produkttegenskaperna för KVV1 samt KVV2 beskrivna.

**Tabell 1 Produkttegenskaper för KVV1 och KVV2.**

<b>Element</b>	<b>Enhet</b>	<b>KVV1</b>	<b>KVV2</b>
<b>Pantryck &amp; temp.</b>	Bar(a)/°C	63/510	76/504
<b>Ångflöde</b>	Kg/s	10	10,1
<b>Ångtryck &amp; temp.</b>	Bar(a)/°C	60/510	70/504
<b>RGK</b>	MW	7	10
<b>Elproduktion</b>	MW	7	8,7
<b>Fjärrvärme</b>	MW	22	25
<b>Tillförd effekt</b>	MW	29	31,5
<b>Bränsle typ</b>		Biobränsle	Biobränsle

I Figur 2 ses en schematisk bild för produktion av el, fjärrvärme och fjärrkyla på Västermalmsverket.



Figur 2 Schematisk bild över el och värmeanvändning till och från Västermalmsverket.

I Västermalmsverkets energisystem nyttjas värmen från kraftvärmeverket till fjärrvärme, fjärrkyla och pelletstillverkning. Spillvärmen från Ecodatacentret (ECO DC) används till att förvärma pelletstillverkningen.

### El- och fjärrvärmeproduktion

I Tabell 2 ses el- och fjärrvärmeproduktionen för år 2021 och år 2022. Totalt producerades årligen runt 80 000 MWh el och 340 000 MWh fjärrvärme från Västermalmsverket. KVV2 fungerar som baslastpanna och KVV1 som spetslastpanna vilken är i drift mellan perioden september-april.

Tabell 2 El och fjärrvärmeproduktion åren 2021 och 2022.

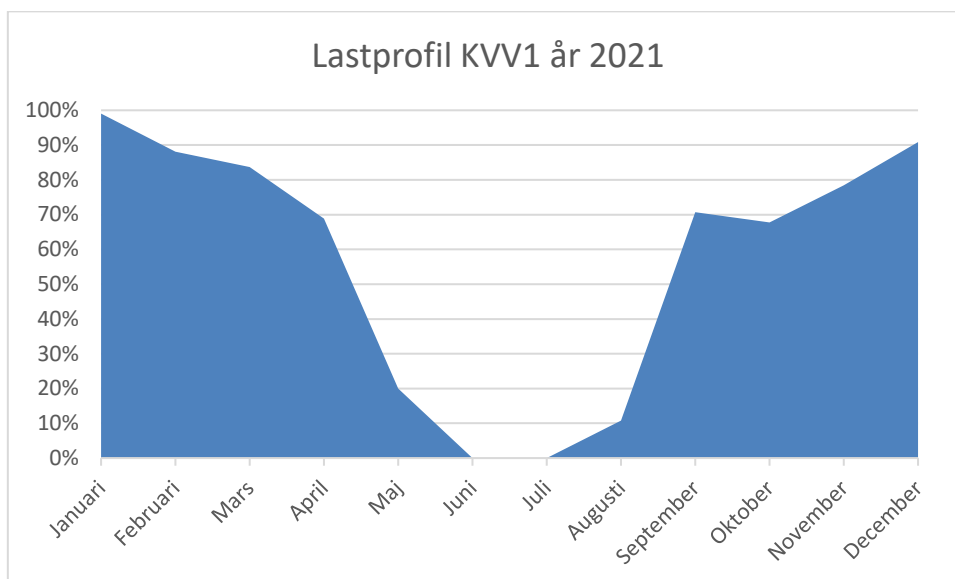
År	EL KVV1	EL KVV2	Fjärrvärme KVV1	Fjärrvärme KVV2	Total EI	Total Fjärrvärme	Enhet
2021	32 614	42 657	145 080	198 937	75 271	344 017	MWh
2022	36 366	43 791	151 948	190 587	80 157	342 535	MWh

Totalt produceras årligen ca 340 000 MWh fjärrvärme och ca 80 000 MWh el från KVV1 och KVV2.

### Lastprofil

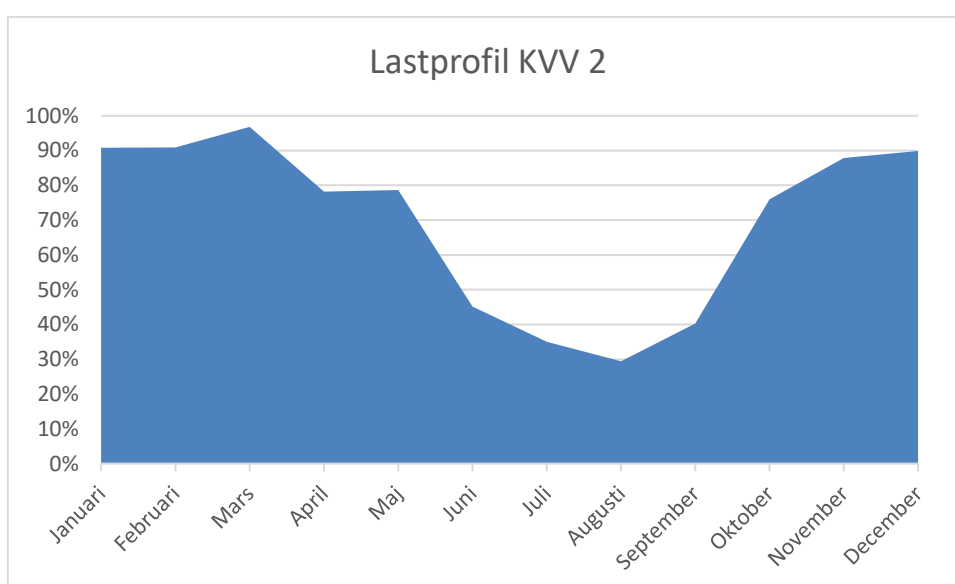
KVV1 har en relativt jämn och hög last med ca 90 % av total maxkapacitet över årets ca 4700 drifttimmar. I Figur 3 ses lastprofilen, lasten i procent per månad, för KVV1 år 2021.





**Figur 3 Lastprofil för KVV1**

KVV2s last varierar och under årets ca 7700 drifttimmar har KVV2 en genomsnittlig lastprofil på ca 68 %.



**Figur 4 Lastprofil för KVV2**

I Figur 4 ses lastprofilen i procent på månadsbasis för KVV2.

### Rökgassammansättning

År 2022 utfördes rökgasanalys i rökgaskanal efter rökgaskondensering från KVV1 och KVV2. I Tabell 3 ses analysresultatet och rökgassammansättningen från KVV1 och KVV2 vid maxlast.

**Tabell 3 Rökfassammansättning vid maxlast efter RGK.**

Produkt	Enhet	KVV1	KVV2
CO <sub>2</sub> (våt)	%	14	13,6–15,4
Vatten	%	6–10	6–10
Syre	%	6–8	4,5–6
Stoft	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> tg	3–10, 6% O <sub>2</sub>	0,5–3, 11% O <sub>2</sub>
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> tg	100, 6% O <sub>2</sub>	9–20, 11% O <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> tg	1–3,6 % O <sub>2</sub>	1–3, 11 % O <sub>2</sub>
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> tg	120 ,6 % O <sub>2</sub>	75, 11 % O <sub>2</sub>
NH <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> tg	0–2 ,6 % O <sub>2</sub>	0–2, 11 % O <sub>2</sub>
Rökgasflöde	Nm <sup>3</sup> /h	50 000	52 000
Temperatur	°C	50	50
Tryck	kPa	0,27	0,27

I Tabell 3 ses att koldioxidhalten i rökgaserna är 14 % för KVV1 och mellan 13,6–15,4 % för KVV2. Temperaturen efter rökgaskondensorn är ca 50 °C.

### Koldioxidavskiljning

I nästan ett sekel har koldioxidavskiljning som processteg använts inom industrin<sup>1</sup>. Utvunnen fossil naturgas<sup>2</sup> har oftast en hög koldioxidkoncentration och behöver renas för att kunna nyttjas som bränsle. Den avskilda koldioxiden kan sedan användas vid tillverkning av andra kemiska produkter och vid utvinning av olja (Enhanced oil recovery, EOR). Med detta har teknikutveckling varit stor och mycket forskning har bedrivits inom koldioxidavskiljning från naturgas.

Fossila koldioxidutsläpp från samtliga industrier måste fasas ut helt eller minskas så långt det är möjligt för att Sverige och EU skall nå mål om klimatpositivt efter år 2045 och år 2050. Under de senaste åren har CCS (Carbon Capture and Storage) identifierats som en nödvändig kompletterande åtgärd för att minska utsläppen från olika industrier<sup>3</sup> till atmosfären. Detta kommer dock inte räcka då atmosfären fortfarande används som en soptipp för fossil koldioxid. För att rena atmosfären på koldioxid genom minusutsläpp erfordras kolsänkor och i Sverige är

<sup>1</sup> Chandan S., Siddhant K. P., Rajnish K., Jitendra S. S., (2022) High-pressure theological signatures of CO<sub>2</sub> hydrate slurries formed from gaseous and liquid CO<sub>2</sub> relevant for refrigeration, pipeline transportation, carbon capture, and geological sequestration.

<sup>2</sup> Muhammad N., Humbul S., Abdulhalim M., (2022) Carbon Capture and Utilization: A biometric analysis from 2007-2021.

<sup>3</sup> Ronald W., Qie S., Hailong L., (2014) The future potential for Carbon Capture and Storage in climate change mitigation – an overview from perspectives of technology, economy and risk.

BioCCS identifierad som den största potentiella kolsänkan för att Sverige skall klara uppsatta klimatmål.

### **Avskiljningstekniker**

Koldioxidavskiljningstekniker delas oftast upp i tre olika kategorier: *Pre Combustion*, *Oxy-Fuel* samt *Post Combustion*.

#### **Pre Combustion**

Inom kategorin Pre Combustion sker koldioxidavskiljning innan förbränning. Denna process kan till exempel användas i en IGCC-anläggning (Integrated Gasification Combined Cycle) i vilken en förgasning av bränsle sker. Vid förgasningen produceras en kvävefri syntesgas<sup>4</sup> med främst kolmonoxid och väte. Kolmonoxiden reagerar med tillförd ånga och bildar koldioxid som avskiljs. Det kvarvarande vätet blandas ut med andra gaser och förbränns.

#### **Oxy-Fuel**

Inom Oxy-Fuel-tekniken ersätts den vanliga förbränningsluften med rent syre<sup>5</sup>. För en god förbränningsmiljö recirkuleras rökgaserna vilket ger en temperatursänkning. Forskningsrapporter visar att en blandning av 30% syre och 70 % recirkulerade rökgaser (koldioxid) ger egenskaper som liknar förbränning med vanlig luft<sup>6</sup>. En förbränningsprocess med Oxy-Fuel ger höga CO<sub>2</sub>-halter i rökgaserna med upp till 95 %<sup>7</sup>.

Energibehovet är stort för Oxy-Fuel-tekniken. Det största energibehovet erfordras för produktion av rent syre vilket oftast sker genom elektrolys<sup>8</sup> av vatten. En fördel med denna teknik är att biprodukten vätgas kan nyttjas som rent bränsle eller tillsammans med den avskilda koldioxiden användas vid tillverkning av elektrobränslen, BioCCU (Bioenergy Carbon Capture and Utility). Med Oxy-fuel-processen så undviks hanteringen av stora kvävevolymmer som annars tillförs med vanlig förbränningsluft.

#### **Post-Combustion**

Till kategorin Post-Combustion tillhör tekniker där koldioxidavskiljningen från rökgaserna sker efter förbränningen som ett sista steg. Processen kräver inga ingrepp i befintliga pannor utan avskiljningsanläggningen är en EOP (end-of pipe) lösning och kan med fördel byggas direkt vid befintliga kraftvärmeverk. Det är

---

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub> Capture Technologies (2012)- Section 3\_3\_ (globalccsinstitute.com)

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

<sup>6</sup> Paulina W., Andrzej S., Mario D., (2020) Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities.

<sup>7</sup> Fredrik N., (2010) Oxy-fuel Combustion – The control of nitrogen oxides.

<sup>8</sup> S. Garcia Luna., C. Ortiz., (2023) Conceptual assessment of sustainable methane production from oxycombustion CO<sub>2</sub> capture in waste-to-energy power plants.

inom Post Combustion-kategorin som de mest mogna och utvecklade koldioxidavskiljningsteknikerna finns på marknaden idag<sup>9</sup>.

### *Kemisk absorption*

Den vanligaste Post-Combustion-tekniken för koldioxidavskiljning är kemisk absorption<sup>10</sup>. Tekniken är den mest mogna och välutvecklade processen för koldioxidavskiljning och har länge varit tillgänglig på den kommersiella marknaden. Koldioxidavskiljning med kemisk absorption sker oftast i en två-steps process.

I första steget leds rökgasblandningen med koldioxid in ett absorptionstorn fyllt med packningsmaterial. Packningsmaterialet är utformat med en så stor kontaktyta som möjligt för att uppnå en stor reaktionsyta<sup>11</sup>. I absorptionstornet reagerar koldioxiden med en koldioxidreaktiv och -selektiv lösningsvätska. Den kemiska bindningen mellan koldioxid och lösningsvätskan gör att koldioxiden absorberas och resterande gaser passerar vidare ut till atmosfären eller annat processteg. Den koldioxidrika lösningsvätskan pumpas vidare till steg två i processen.

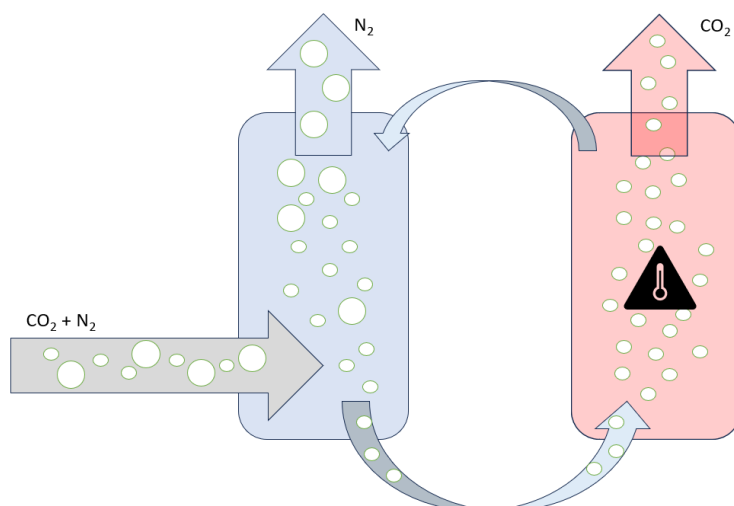
I steg två så tillsätts värme för att reversera reaktionen och separera koldioxiden från lösningsvätskan. De olika absorptionsteknikerna har olika värmebehov beroende på hur stark den kemiska bindningen är mellan koldioxidmolekylen och lösningsvätskan. En stark kemisk bindning erfordrar mer tillsatt värme i steg två jämfört med en svag kemisk bindning. Koldioxiden lämnar processen som en ren gas och den koldioxidfattiga lösningsvätskan recirkuleras tillbaka till steg 1 för att påbörja avskiljningsprocessen på nytt. Figur 5 visar en schematisk bild av koldioxidavskiljning med kemisk absorption.

---

<sup>9</sup> Cong C., Yimin D., Raf D., Jan B., Xiaofeng f., (2020) Post-combustion carbon capture.

<sup>10</sup> Anusha K., (2010) Carbon dioxide Capture by chemical absorption: A solvent comparison study.

<sup>11</sup> F.M. Khan., V., Krishnamoorthi., T. Mahmud., (2010) Modelling reactive absorption of CO<sub>2</sub> in packed columns for post-combustion carbon capture applications.



**Figur 5 Förenklat flödesschema för koldioxidavskiljning med kemisk absorption.**

Merparten av rökgaserna (från en förbränningsprocess i ett kraftvärmeverk) består av kväve då atmosfärisk luft (ca 21 % O<sub>2</sub> och 78 % N<sub>2</sub>) används vid förbränningen av bibränsle. Koldioxidkoncentrationen i rökgaserna är ca 13–16 %. Utöver kvävgas innehållet rökgaserna vatten och syre.

### Kryogen teknik

Vid tillämpning av kryogen teknik för koldioxidavskiljning nyttjas olika ämnens kokpunkt som med nedkylning kondenserar vid varierade temperaturer. Genom att kyla ner rökgaserna till kryogena temperaturer fälls koldioxiden ut i fast eller flytande form. Temperaturerna i en kryogenprocess för koldioxidavskiljning är ned till -130 °C<sup>12</sup>.

### Adsorption

Koldioxidavskiljning med adsorption sker genom att koldioxidmolekylen binds in till ytan av ett fast material. Koldioxidmolekylen frigörs sedan i desorptionssteget då värme tillsätts. Adsorptionsprocessen är liknar absorptionsprocessen, men dess selektivitet är inte lika god som med kemisk absorption.

### Teknikutveckling

Eftersom BioCCS har identifierats som en viktig framtida klimatindustri, satsar både företag och stater ekonomiska medel på forskning och utveckling inom detta. En stor utveckling har redan skett på marknaden för koldioxidavskiljningstekniker och flera företag lanserar nya innovativa tekniker och processer. Företag satsar på en koldioxidavskiljningsprodukt som har ett lägre energibehov med lägre grad av föroreningsdegradering. Dessa teknologiska framsteg är avgörande högre effektivitet, lägre kostnader och för att säkerställa tillämpning vid mer utmanande utsläppskällor.

<sup>12</sup> Carolina F.P ., David C., Chinonyelum U (2021) Review of Cryogenic Capture Innovations and Their Potential Applications.

## Förvätskning

De koncentrerade avskilda koldioxidgasen lämnar avskiljningsprocessen behöver förvätskas för att underlätta och effektivisera transporten till användning eller slutlagring. Transporten sker vanligtvis med lastbil, tåg eller fartyg avhängigt på vart avskiljningsanläggningen är lokaliserad samt vart slutförvaringen eller användning av koldioxiden äger rum (se avsnitt AP4 – Transport och Logistik).

Förvätskning av koldioxid utförs vanligtvis med två olika tekniker, lågtrycksförvätskning med extern kylmedia eller högtrycksförvätskning genom expansion<sup>13</sup>.

Förvätskning med lågtryckskompression sker med en eller flera kompressorer och med ett externt kylmedia, vanligtvis ammoniak (ner till  $-30^{\circ}\text{C}$ )<sup>14</sup>. Kompressorerna används för att öka trycket till önskat värde och köldmediet kyler därefter ned koldioxidgasen som kondenseras. Koldioxid kan ej förvätskas vid atmosfäriskt tryck, utan övergår vid låga temperaturer direkt till fast fas om ingen tryckökning skett.

Förvätskning med högtryckskompression sker genom en serie kompressorer med mellankylning. Kompressorerna komprimerar och kyler koldioxiden i olika steg tills nödvändigt sluttryck är uppnått. Genom att koldioxiden komprimeras till högt tryck och sedan expanderar kondenseras koldioxiden. Fenomenet kallas för Joule-Thomson-effekten. När gasen expanderar och trycket sjunker minskas temperaturen. Genom denna process erfordras inga externa kylkompressorer för att kyla ner gasen till de låga temperaturerna som krävs (normalt ca  $-28^{\circ}\text{C}$ )<sup>15</sup>. En fördel med högtrycksförvätskning är att en stor del värme kan återvinnas från förvätskningsprocessen och säljas som fjärrvärme.

## Avskiljningstekniker

Tillgängliga kommersiella koldioxidavskiljningstekniker på marknaden idag är en bra utgångspunkt för att kartlägga nuvarande förutsättningar på Västermalmsverket. Flera teknikpatent är utdaterade och det finns en betydande mängd samlad information för koldioxidavskiljningsprocessen vilket ger verklighetstroga resultat vid processmodellering.

Projektgruppen valde ut fyra koldioxidavskiljningstekniker för denna förstudie: *MEA*, *HPC*, *Joniska vätskor* samt *Membranteknik*. Dock valde projektgruppen att inte utföra en fördjupad processmodellering för membrantekniken på grund av projekttid samt saknad av erforderliga data. Teknikvalen baserades på kommersiell tillgänglighet, mognadsgrad och innovation.

---

<sup>13</sup> Lars O., Nils E., Umesh A., Mathias H. B., Jayalanka L. B., Songbo Y., (2016) Simulation and cost comparison of CO<sub>2</sub> liquefaction.

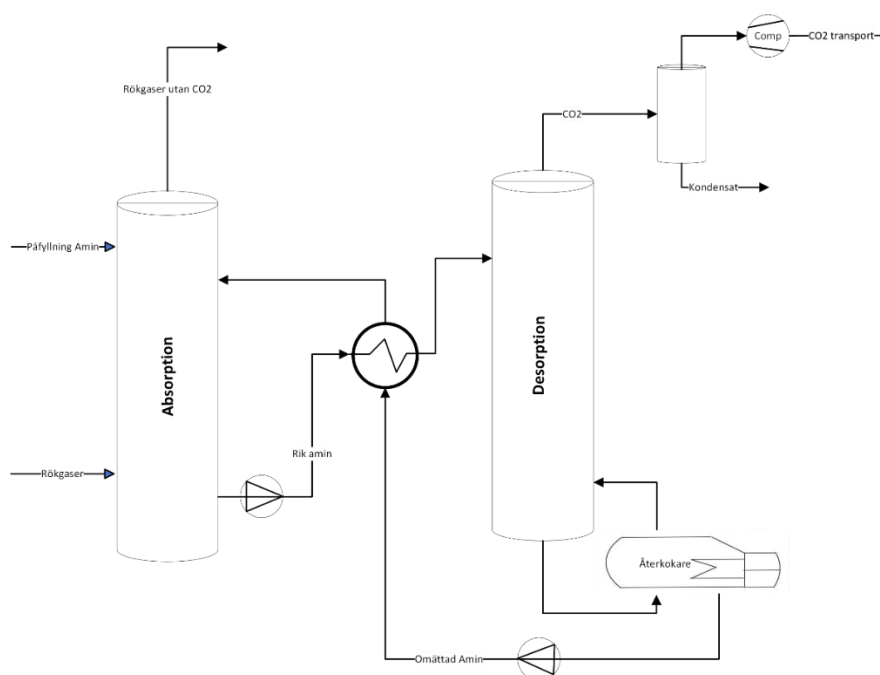
<sup>14</sup> Abdullah A., Yunho H., Reinhard R., (2011) Development of CO<sub>2</sub> liquefaction cycles for CO<sub>2</sub> sequestration.

<sup>15</sup> Youngkyun S., Cheol H., Daejun C., (2014) Economic evaluation of CO<sub>2</sub> liquefaction process for ship-based Carbon capture and Storage (CCS) Chain.

## MEA

Koldioxidavskiljning med Monoetanolamin (MEA) är en aminteknik som är väletablerad på den kommersiella marknaden<sup>16</sup>. MEA- processen betraktas som en synnerligen bra koldioxidavskiljningsprocess för rökgaser på grund av dess höga reaktivitet och selektivitet med CO<sub>2</sub> även vid låga koncentrationer. En hög effektiv avskiljningsgrad upp till 99 % är genomförbart med denna teknik<sup>17</sup>.

MEA används i flertalet studier som ett riktmärke (benchmark)<sup>18</sup> på grund av mängden tillförlitliga data för processmodellering. Tekniken är pålitlig och effektiv för att avskilja koldioxid från rökgaser.



**Figur 6 Förenklat processflödesschema för MEA.**

MEA-tekniken är en kemisk absorptionsprocess och i Figur 6 ses ett förenklat flödesschema för koldioxidavskiljningsprocessen. Rökgaserna med en temperatur på ca 40 °C flödar från förbränningsprocessen till ett absorptionstorn. I absorptionstornet interagerar rökgaserna med en lösningsvätska som består av en 30 % monoetanolaminlösning. Lösningsvätskan är mycket selektiv och reagerar

<sup>16</sup> F.M. Khan., V., Krishnamoorthi., T. Mahmud., (2010) Modelling reactive absorption of CO<sub>2</sub> in packed columns for post-combustion carbon capture applications.

<sup>17</sup> 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.

<sup>18</sup> E. Sanchez Fernandez, E.L.V. Goetheer, G. Manzolini, E. Macchi, S. Rezvani, T.J.H. Vlught d., (2014) Thermodynamic assessment of amine based CO<sub>2</sub> capture technologies in power plants based on European Benchmarking Task Force methodology.

lätt med koldioxidmolekylerna. Vid den kemiska reaktionen mellan koldioxiden och MEA bildas karbamat. Den kemiska reaktionen är exoterm och avger värme.

Den koldioxidrika lösningsvätskan pumpas vidare via värmeväxlare till ett desorptionstorn. I detta steg tillsätts värme i form av ånga och bindningen mellan koldioxiden och lösningsvätskan bryts. Koldioxiden frigörs från lösningsvätskan och lämnar desorptionstornet som en ren gas. Lösningsvätskan recirkuleras tillbaka till absorptionstornet för att börja processen på nytt. MEA-tekniken är en temperatursvingprocess vilket innebär att temperaturen varierar som en del i avskiljningsprocessen för koldioxid.

Även om MEA-tekniken är välkänd så kommer den med ett par utmaningar och överväganden. MEA-processen har ett stort energibehov och den mest energikrävande delen i avskiljningsprocessen är regenerering av lösningsvätskan i desorptionstornet, där koldioxiden separeras från lösningsvätskan.

Föroreningar och andra gaser ger upphov till degradering i form av korrosion, utfällningar och bildandet av nya kemiska föroreningar i form av avfall. Lösningsvätskan reagerar med andra sura gaser som  $\text{SO}_2$  och  $\text{NO}_2$  vilket bildar Heat Stable Salts (HSS) som måste avlägsnas från avskiljningsprocessen som avfall<sup>19</sup>. Salterna ger upphov till ökad skumaktivitet i lösningsvätskan och påskyndar korrosion i systemet.

## HPC

Hot Potassium Carbonate (HPC) är en teknik som finns tillämpad på flertalet anläggningar världen över. Med HPC-tekniken sker koldioxidavskiljningen genom kemisk absorption med kaliumkarbonatlösning. HPC-tekniken är en trycksvingprocess vilket innebär att variationer i tryck är en del av avskiljningsmetoden. Övergripande så är HPC-tekniken och processflödet likt MEA-tekniken. En skillnad jämfört med MEA är att HPC-processen opererar vid en betydligt högre temperatur (80–100 °C) och hela absorptionsprocessen är trycksatt. En kompressor komprimerar inkommande rökgaser till ett tryck mellan 6–15 bar, beroende på hur hög avskiljningsgrad som eftersträvas. För en avskiljningsgrad på 85–90 % så behöver rökgaserna komprimeras till 6–8 bar<sup>20</sup>. Vill en hög avskiljningsgrad uppnås på över 90–95 % så behöver rökgaserna komprimeras upp till 15 bar. Det innebär att ett högre tryck resulterar i mer avskild koldioxid för samma volym lösningsvätska.

Efter kompressionssteget kyls rökgaserna ned till ett, för avskiljningsprocessen, optimalt temperaturområde på 80 – 110 °C. Värmen som upptas i detta steg kan användas internt i processen eller exporteras till fjärrvärmenätet. De kylda och

---

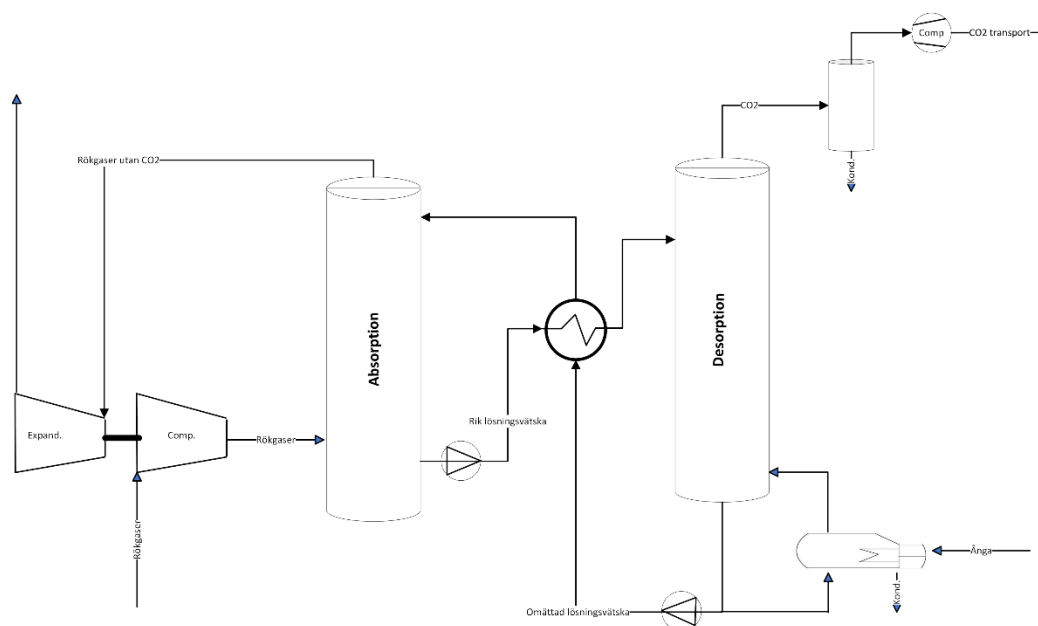
<sup>19</sup> Alexey V., Vladimir V., Stepan B., Vladimir V., Alexander R., Sven U., Bernd S., (2013) Reclaiming of Monoethanolamine (MEA) Used in Post-Combustion CO<sub>2</sub>-Capture with Electrodialysis.

<sup>20</sup> 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.



komprimerade rökgaserna flödar in i absorptionstornet där rökgaserna reagerar med lösningsvätskan och koldioxiden avskiljs (se Figur 7).

Efter att koldioxiden har avskilts och absorberats i lösningsvätskan så pumpas den koldioxidmättade lösningsvätskan vidare, genom ett värmeåtervinningssteg, till desorptionstornet där expansion sker till atmosfäriskt tryck. Genom att installera en turbinkomponent för denna tryckreducering kan en stor del av energin värmeåtervinnas. Trycket reduceras och värme tillsätts i form av ånga för att påskynda avskiljningsprocessen.



**Figur 7 Förenklat processflödesschema för HPC-tekniken.**

Reaktionen för HPC sker enligt följande reversibla formel:



Kaliumkarbonatlösningen reagerar med koldioxiden i rökgasen och bildar bikarbonat. Reversering av reaktionen sker genom tillsättning av värme då koldioxiden avskiljs och kaliumkarbonatlösningen återstår. Återstående från koldioxidavskiljningsprocessen finns koldioxid i gasform med en hög renhet, ofta över 99,9 % volym torr gas.

Behovet att komprimera rökgaserna finns för att effektivisera processen då den kemiska bindningen är relativt svag. MEA-tekniken har inte samma behov av komprimering då lösningsvätskan reagerar lätt med koldioxiden och den kemiska bindningen är stark. HPC-processen blir energikrävande vid en hög avskiljningsgrad, då en högre avskiljningsgrad innebär ökad kompression av rökgaserna. Det forskas mycket på olika tillsatser som ska förbättra effektiviteten i

HPC-processen som till exempel borsyra och vanadinpentoxid som nyttjas som katalysatorer för koldioxidavskiljningen<sup>21</sup>.

HPC-tekniken är i grundutförandet mer känslig för driftlastvariationer än MEA-tekniken. Kompressorn för rökgaskomprimeringen fordrar en viss volym av rökgaser för att upprätthålla en normal drift. Vid en minskad rökgasvolym från pannorna, < 70 % av maxkapacitet, så behöver rökgaser recirkuleras till kompressorn för att upprätthålla erforderligt volymflöde. Att driva avskiljningsanläggningen < 40 % av maxkapacitet anses som direkt olämpligt.

Recirkulation av rökgaserna påverkar OPEX då driftkostnaden förblir densamma, men volymen av koldioxid minskar. För att komma runt detta problem så kan parallella komponenter installeras (kompressorkomponenter) vilket skapar en högre investerings- och driftkostnad, men lastvariationer kan hanteras betydligt bättre. I grundutförande så är HPC-tekniken en process som är främst lämpad för en stabil last året om.

Lösningssvåtskan i HPC-processen består av en kaliumkarbonatlösning,  $K_2CO_3$  vilket i praktiken är en saltlösning utan andra tillsatser vilken är mer miljövänlig än aminer. Avfallsprodukter som bildas är främst HSS. Kaliumkarbonatet är en oorganisk lösning som inte reagerar med syre eller kväve i rökgaserna. Dock reagerar kaliumkarbonatet med  $NO_x$  och  $SO_x$ . En koldioxidavskiljningsanläggning skall inte ses som ett alternativ för rökgasrening utan föroreningar från förbränningen skall tas om hand om innan avskiljningsanläggningen. Det är viktigt att de kemiska föroreningarna i rökgaserna renas för att upprätthålla en optimal drift av koldioxidavskiljningsanläggningen.

### Joniska vätskor

Innovativa tekniker för koldioxidavskiljning från industriella processer utvecklas kontinuerligt för att optimera egenskaper som degradering, korrosion och höga specifika energibehov. Joniska vätskor är en teknik, som precis som MEA och HPC, är baserad på kemisk absorption med en speciell sorts lösningssvåtska för att avskilja koldioxiden från rökgaserna.

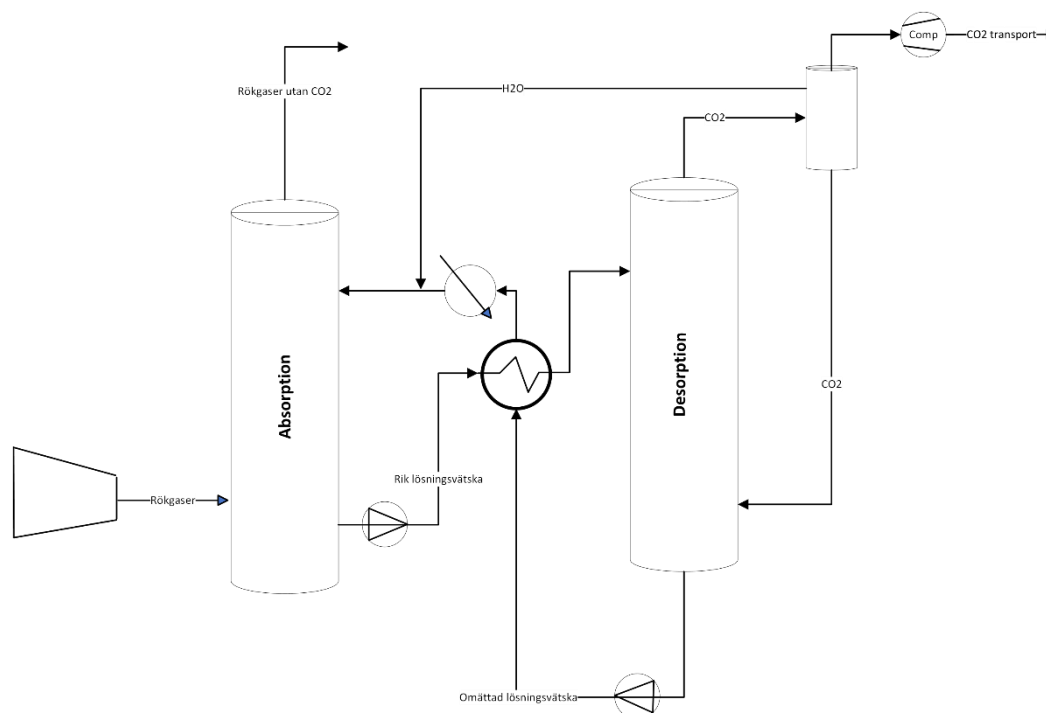
Joniska vätskor är i grunden organiska salter uppbyggda av joner. Salterna är flytande under 100 °C vilket gör att de kan användas som en lösningssvåtska för att absorbera koldioxid.

Utmärkande egenskaper för joniska vätskor är låg flyktighet, hög termisk och kemisk stabilitet, icke-brännbara och hög viskositet. Den höga viskositeten är en utmaning vid jämförelse med konventionella lösningssvåtskor. För att reda ut utmaningen med hög viskositet så inblandas en annan vätska som sänker viskositeten och samtidigt förbättrar absorptionskapaciteten för koldioxid. I denna studie så baseras processmodelleringen på den Joniska vätskan [P66614] [CNPyr]

---

<sup>21</sup> Suênia F. V., Lucas O. C., Romildo P. B., Karoline D. B., (2023) Evaluation of an Industrial Absorption Process for Carbon Capture Using  $K_2CO_3$  Promoted by Boric Acid.

AHA (rihexyltetradecylphosphonium 2-cyanopyrrolide och Tetraglyme är den kompletterande lösningsvätskan för att minska viskositeten.



**Figur 8 Processbild för koldioxidavskiljning med Joniska vätskor.**

I Figur 8 ses en förenklad processbild för koldioxidavskiljning med Jonisk vätska. Rökgaserna från förbränningen komprimeras och leds in i absorptionstornet där gasblandningen möter en ström av lösningsvätska. Den selektiva lösningsvätskan reagerar med koldioxiden och bildar en kemisk bindning. Den koldioxidrika lösningsvätskan pumpas vidare, via värmeväxlare och förvärms, till desorptionstornet. Lösningsvätskan i desorptionstornet behöver endast förvärmas vid uppstart av avskiljningsprocessen. Därefter upprätthålls koldioxidavskiljningstemperaturen av den exoterma kemiska reaktionen utan externt ångbehov.

När koldioxiden avskiljs från lösningsvätskan flödar den ut i toppen av desorptionstornet tillsammans med en mindre del vatten. En liten del koldioxid recirkuleras till desorptionstornet för att fungera som en gasbärare. Den regenererade lösningsvätskan kyls i två steg innan processen börjar om i absorptionstornet.

Joniska vätskor är en obeprövad teknik där utveckling fortfarande är på forskningsstadiet. Tekniken har stor potential för att vara mer effektiv jämfört med andra tekniker då ingen tillförd värme krävs för koldioxidavskiljningsprocessen. Kontinuerlig forskning är nödvändig och större pilotanläggningar kommer att behöva byggas för att undersöka tekniken ytterligare.

## Membranteknik

Ett membran är en helt eller en delvis ogenomtränglig hinna. För koldioxidavskiljning med membranteknik passerar rökgaserna ett membran som fungerar som ett selektivt filter för koldioxid. Koldioxidmolekylen tänger igenom membranet och avskiljning sker från övriga rökgaser.

Koldioxidavskiljningsgraden beror på filtrets selektiva permeabilitet<sup>22</sup>, men är generellt lägre jämfört med kemisk absorptionsteknik. Tekniken kräver stor renlighet på inkommande rökgaser då föroreningar och fukt kan skada membranet och försämra funktionen.

Projektgruppen var i kontakt med företag A för att utvärdera membrantekniken för Västermalmsverket. Avskiljningsgraden för leverantörens membranteknik uppgavs kunna nå 90 %. Rökgaserna innan membranfiltrerna håller atmosfäriskt tryck och differensstrycket som krävs för avskiljningsanläggningen för koldioxid uppnås genom vacuum på sekundärsidan av membranfiltren. Företag A uppger att ett vacuum på sekundärsidan sparar en stor del energi jämfört med att trycksätta rökgaserna på primärsidan. Tekniken är fortfarande under utveckling men indikativa siffror angavs som visade på ett effektbehov mellan 200-300 kWh/ton CO<sub>2</sub> och en investeringskostnad på mellan 150-200 EUR/ ton CO<sub>2</sub>.

Då membrantekniken fortfarande är under utveckling valde projektgruppen att inte genomföra mass- och energibalansberäkningar på tekniken. De angivna siffrorna från företag A visar dock att membranteknik kan vara ett bra alternativ till dagens existerande tekniker.

## Mass- och energibalanser

Projektgruppen har i detta arbetspaket processmodellerat och utvärderat tre olika avskiljningstekniker för koldioxid, MEA, HPC och Joniska vätskor. För alla tre tekniker så valdes tre olika driftscenarios. Projektgruppen tillsammans med RISE utförde mass- och energibalansberäkningar på samtliga scenarios.

- **Scenario 1:** Koldioxidavskiljning och förvätskning från **KVV1, 60 000 ton** årliga biogena CO<sub>2</sub> utsläpp.
- **Scenario 2:** Koldioxidavskiljning och förvätskning från **KVV2, 80 000 ton** årliga biogena CO<sub>2</sub> utsläpp.
- **Scenario 3:** Koldioxidavskiljning och förvätskning från **KVV1 och KVV2, 140 000 ton** årliga biogena CO<sub>2</sub> utsläpp.

Anläggningsdata för samtliga mass- och energibalanser baseras på maximalt rökgasflöde.

---

<sup>22</sup> Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R., (2014) Membrane-based carbon capture from fluegas: a review.

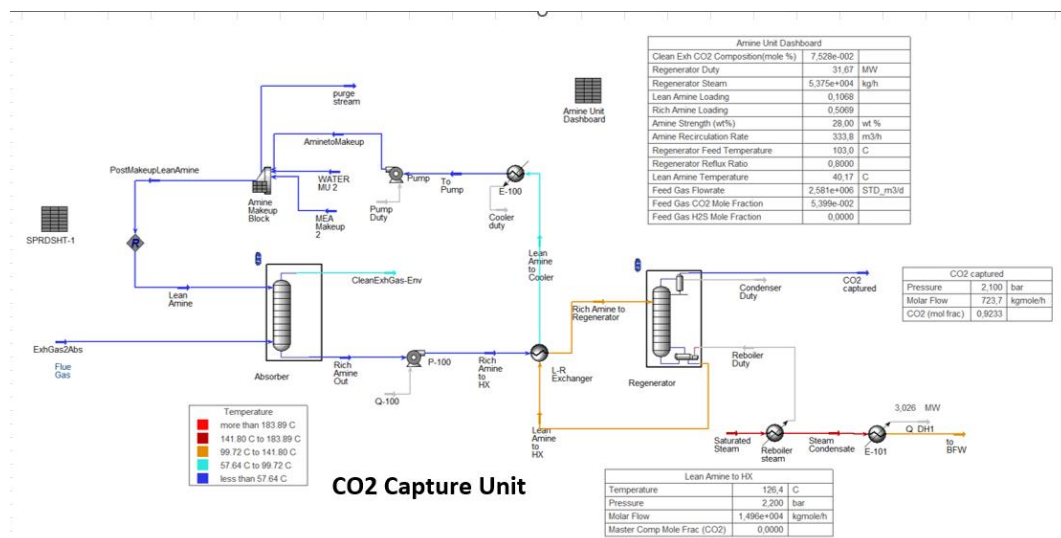
**Tabell 4 Drifttimmar och årliga CO<sub>2</sub> utsläpp.**

Parameter	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	Timmar	4700	7700	Viktad
Beräknade CO <sub>2</sub> utsläpp	ton/år	60 000	80 000	140 000

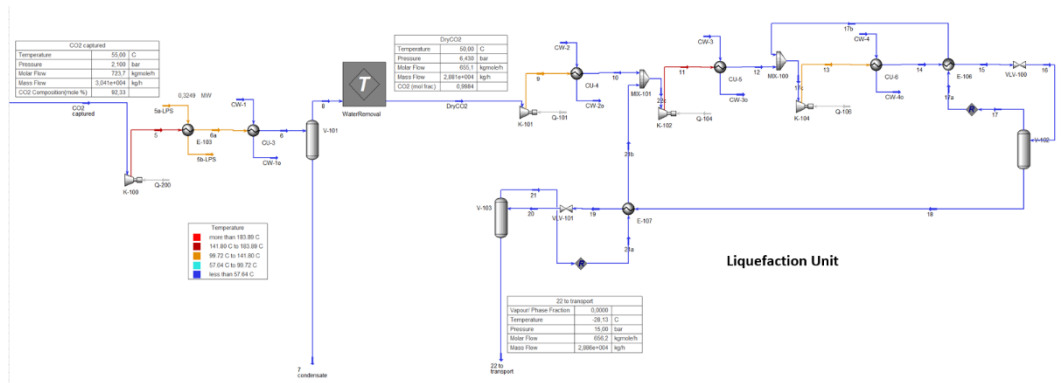
I Tabell 4 ses beräknade koldioxidutsläpp från KVV1 och KVV2 tillsammans med anläggningarnas årliga drifttimmar.

### Processmodellering

Syftet med processmodellering är att genom mass-och energibalansberäkningar få fram kostnader och energiprofiler för respektive avskiljningsteknik och scenario. För processmodelleringen så användes Aspen HYSYS och Aspen Plus som processmodelleringsverktyg. Båda databaserna är verktyg som ger en bra uppskattning av resultatet vid modellering av en avskiljnings- och förvätskningsanläggning för koldioxid. För Joniska vätskor så finns det ännu inga egenskaper i databasen för Aspen Plus, dessa har hämtats ur litteraturen (de Riva et al., 2018; Ferro et al., 2012). Värden från processmodelleringen går att se i Bilaga 1.1 - Processmodellering.


**Figur 9 Processmodellering för avskiljningsanläggning.**

Simuleringarna för MEA och HPC designades för en hög effektivitet och hög koldioxidavskiljningsgrad. För Joniska vätskor så designades avskiljningsprocessen för 90 % avskiljning av koldioxid.



**Figur 10 Processmodellering för förvätskningsanläggning.**

I denna studie valde projektgruppen högtryckskomprimering med expansion som teknik för koldioxidförvätskningen. Koldioxiden från avskiljningsprocessen förvätskas genom att koldioxiden komprimeras och kyls i flera steg för att därefter expandera i två steg till önskat tryck och temperatur (Joule-Thomson effekten), vilket i denna studie är 15 bar och  $-28^{\circ}\text{C}$ . Koldioxiden genomgår en termodynamisk förändringsprocess, då en förändring i tryck skapar en förändring i temperatur, från 80 bar till 15 bar vilket resulterar i en sluttemperatur på  $-28^{\circ}\text{C}$ .

**Tabell 5 Designparametrar för förvätskningsprocessen för MEA, HPC och Joniska vätskor**

Komponent	Enhet	Värde MEA, HPC	Värde Joniska vätskor
Kompressor 1	bar	7	3
Kompressor 2	bar	12	9
Kompressor 3	bar	38	27
Kompressor 4	bar	80	80
Expansion 1	bar	38	27
Expansion 2	bar	15	15
Inkommande CO <sub>2</sub> - temperatur	$^{\circ}\text{C}$	40	40

Förvätskning av koldioxiden är en nödvändighet för att reducera kostnaden för transport. Föroreningar från avskiljningsprocessen separeras i detta steg och beroende på kravställningen om slutprodukten renhetsgrad kan ytterligare reningssteg inkluderas i processen.

### Resultat mass- och energibalans MEA

I Tabell 6 kan resultatet från processimuleringen för MEA ses. Koldioxidavskiljningsgraden är hög med  $>96\%$  i alla scenarios. Högst

koldioxidavskiljningsgrad har Scenario 3 med en avskiljningsgrad på 97,6 %. En strävan efter en högre avskiljningsgrad gör att reaktionsytan i absorptionstornet måste utökas vilket påverkar dimensionerna på absorptionstornet.

**Tabell 6 Resultat från processmodellering.**

Parameter	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	Timmar	4700	7700	Viktad
CO <sub>2</sub> utsläpp	ton/år	60 000	80 000	140 000
Påfyllning lösningsvätska	kg/tonCO <sub>2</sub>	3,75	3,15	3,86
Avskiljningsgrad CO <sub>2</sub>	%	96,62	96,35	97,56

MEA är en lösningsvätska med en hög degraderingstakt i jämförelse med nya mer avancerade aminer. Beroende på kompositionen av lösningen och processmiljön så sker kontinuerligt en degradering av lösningsvätskans egenskaper. En reclaimering i avskiljningsprocessen tar bort restprodukter och föroreningar för att bibehålla lösningens egenskaper och hålla avskiljningsprocessen fri från avfall och orenheter. Det uppkommer även ett bortfall av lösningsvätskan genom förångning i absorptionsprocessen och en kontinuerlig påfyllning av lösningsvätskan erfordras. Studien visade att mellan 3,15–3,86 kg lösningsvätska/ton avskild CO<sub>2</sub> fyllas på i MEA-processen.

#### *Energiprofil MEA*

Koldioxidavskiljning med MEA-tekniken är, likt de andra avskiljningsteknikerna, en energikrävande process. För att avskilja koldioxiden från rökgaserna behövs elektricitet, lågtrycksånga (3-5 bar (a)) samt kyla. MEA-processen kännetecknas av att elbehovet är mindre jämfört med andra tekniker.

Resultatet från mass- och energibalansberäkningarna visar att elanvändningen för MEA-processen är mellan 0,24 - 0,25 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub>. Det största elbehovet i MEA-processen utgörs främst till att driva kompressorerna i förvätskningsdelen. Den övriga erforderliga elenergin driver pumpar och mindre komponenter i avskiljningsanläggningen.

Det största energibehovet i MEA-processen är lågtrycksånga för att regenerera lösningsvätskan i avskiljningsprocessen vilket kan ses i Tabell 7. Beroende på scenario så krävs det mellan 1,09–1,11 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> lågtrycksånga.

**Tabell 7 Specifikt energibehov för MEA- processen.**

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh <sub>el</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,25	0,25	0,24
Lågtrycksånga	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	1,10	1,11	1,09
Kyla	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	1,09	1,09	1,05

Ett kylbehov föreligger både för avskiljning- och förvätskningsprocessen. Inkommande rökgaser behöver kylas från 50 °C till ca 40 °C innan absorptionssteget och lösningsvätskan från desorptionstornet behöver även den kylas till 40 °C innan den återcirkuleras in i absorptionstornet för att påbörja processen på nytt. Resultatet visar att kylbehovet för MEA-processen är mellan 1,05–1,09 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

### Resultat mass- och energibalans HPC

Resultatet från mass- och energibalansberäkningarna för HPC visar på en hög effektiv avskiljningsgrad för koldioxiden (se Tabell 8). Över 95 % koldioxidavskiljning fås genom att komprimera rökgaserna i avskiljningsprocessen till 15 bar.

Tabell 8 Resultat från processmodellering.

Parameter	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	Timmar	4700	7700	Viktad
CO <sub>2</sub> utsläpp	ton/år	60 000	80 000	140 000
Påfyllning lösningsvätska	kg/ton CO <sub>2</sub>	4,64	4,30	5,27
Avskiljningsgrad CO <sub>2</sub>	%	95,09	95,25	95,51

På grund av förångning och degradering (påverkar påfyllnadsgrad mest) av lösningsvätskan erfordras påfyllning av lösningsvätska med mellan 4,3 - 5,27 kg lösningsvätska/ton CO<sub>2</sub>.

### Energiprofil HPC

HPC-tekniken har ett större elbehov än MEA-tekniken. Det ökade elbehovet beror främst på kompressionen av rökgaserna till 15 bar innan avskiljningsprocessen. I Tabell 9 ses att elbehovet för HPC-tekniken är mellan 0,51 - 0,56 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub> för de olika scenarion. Kylbehovet är mellan 0,76 - 0,83 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> vilket är mindre jämfört med MEA-tekniken (absorptionsprocessen för HPC drifas vid högre).

I HPC-processen är den kemiska bindningen mellan lösningsvätskan och koldioxiden svag och generellt räcker en tryckminskning från 15 bar för att avskilja koldioxiden från lösningsvätskan. För att påskynda desorptionsprocessen så tillsätts värme i form av lågtrycksånga (3 – 5 bar(a)) och i Tabell 9 ses att behovet av lågtrycksånga är mellan 0,31 - 0,37 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

Tabell 9 Specifikt energibehov för HPC-processen.

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh <sub>el</sub> / ton CO <sub>2</sub>	0,56	0,51	0,55



Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Lågtrycksånga	MWh <sub>te</sub> / ton CO <sub>2</sub>	0,37	0,37	0,31
Kyla	MWh <sub>te</sub> / ton CO <sub>2</sub>	0,83	0,82	0,76

Trycket i absorptionstornet avgör energibehovet för koldioxidavskiljningsprocessen. Vid en lägre koldioxidavskiljningsgrad kan trycket på rökgaserna reduceras ner till ca 8 bar vilket gör att avskiljningsgraden sjunker från 95 % till ca 85 %. Trycksänkningen bidrar till minskat elbehov med ca 20 – 25 %. Det innebär att elbehovet vid 15 bar på 0,55 MWh<sub>el</sub> /ton CO<sub>2</sub> sänks till 0,43 MWh<sub>el</sub> /ton CO<sub>2</sub>. Ett högre tryck i processen ställer även större krav på komponenterna och ökar investeringskostnaden.

### Resultat mass-och energibalans Joniska vätskor

Men Joniska vätskor är det lösningsvätskans egenskaper som gör koldioxidavskiljningsprocessen unik. Processen i desorptionstornet är exoterm vilket resulterar i att processen för Joniska vätskor inte har något behov av tillförd värme för att separera koldioxiden från lösningsvätskan. Lösningsvätskan behöver endast förvärmas innan koldioxidavskiljningsprocessen sedan upprätthålls krävd processtemperaturen för att avskilja koldioxiden från lösningsvätskan. I Tabell 10 ses drifttimmar samt avskild koldioxid per år för de olika scenarion.

**Tabell 10 Drifttimmar och avskiljningsgrad för Joniska vätskor.**

Parameter	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Årlig drifttid	h	4700	7700	Viktad
CO <sub>2</sub> utsläpp	ton/år	60 000	80 000	140 000
Avskiljningsgrad CO <sub>2</sub>	%	90	90	90

Joniska vätskor är en innovativ produkt som fått stor uppmärksamhet under senare år. Beräkningarna för denna process är osäkra då det finns en begränsad tillgång på underlag. Produkten är inte kommersiellt tillgänglig och finns inte i storskalig. Avskiljningsgraden för processmodelleringen sattes till 90 %.

### Energiprofil Joniska vätskor

Den specifika energianvändningen för Joniska vätskor är el och kyla (då avskiljningsprocessen inte har något externt värmebehov) vilket ses i Tabell 10. Elanvändningen för koldioxidavskiljning med Joniska vätskor är mellan 0,38 – 0,47 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

**Tabell 10 Energibehov för processen Jonisk vätskor.**

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
El	MWh <sub>el</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,38	0,47	0,46
Kylvatten	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	1,8	2,3	3,0

Kylbehovet för Joniska vätskor är betydligt högre jämfört med MEA och HPC då Joniska vätskor har en högre värmekapacitet. Tillförd värme är dock ej nödvändig vilket ger ett minskat energibehov jämfört med MEA- och HPC-tekniken.

### Värmeåtervinning

Från samtliga tekniker kan värme återvinnas och användas till olika ändamål så som exempelvis fjärrvärmes eller till pelletsproduktion. I studien så antas att all restvärme  $>85\text{ °C}$  säljs som fjärrvärme. Merparten av restvärmes är från kompressorernas arbete. För restvärmes temperaturer  $<85\text{ °C}$  antas ett kylbehov. Lägre temperaturer kan enkelt omvandlas från lågvärdig värme  $<85\text{ °C}$  till högvärdig värme  $>85\text{ °C}$  med el- eller ångdrivna värmepumpar vilket inte är inkluderat i denna studie. Genom att integrera värmepumpar i en avskiljningsprocess för koldioxid så kan kylbehovet minskas markant men med ökad elanvändning. Alla avskiljningstekniker antas leverera restvärme från förvätskningsprocessen vilket ses i Tabell 11.

**Tabell 11 Specifik värmeåtervinning från teknikerna MEA,HPC och Joniska vätskor.**

Energislag	Enhet	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
MEA	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,16	0,16	0,15
HPC	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,37	0,37	0,36
Joniska Vätskor	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,19	0,24	0,21

Restvärme fås från samtliga processer, men för MEA och Joniska vätskor är den liten. Därför visar studien på att merparten av restvärmes från MEA och Joniska vätskor fås från förvätskningsanläggningens kompressorer. HPC är den enda teknik i denna studie där restvärme från avskiljningsprocessen anses vara tillräcklig. Det beror på att kompressionen av rökgaserna till 15 bar genererar en stor del värme som återvinns med värmeväxlare. HPC-tekniken levererar mest tillförd värme i studien med 0,37 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub>. MEA är den teknik som levererar minst restvärme med 0,15 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

En fördjupad optimerings- och integreringsanalys erfordras för att ytterligare undersöka restvärmepotentialen och -behovet från en avskiljnings- och förvätskningsprocessen.

### Sammanfattning energibehov

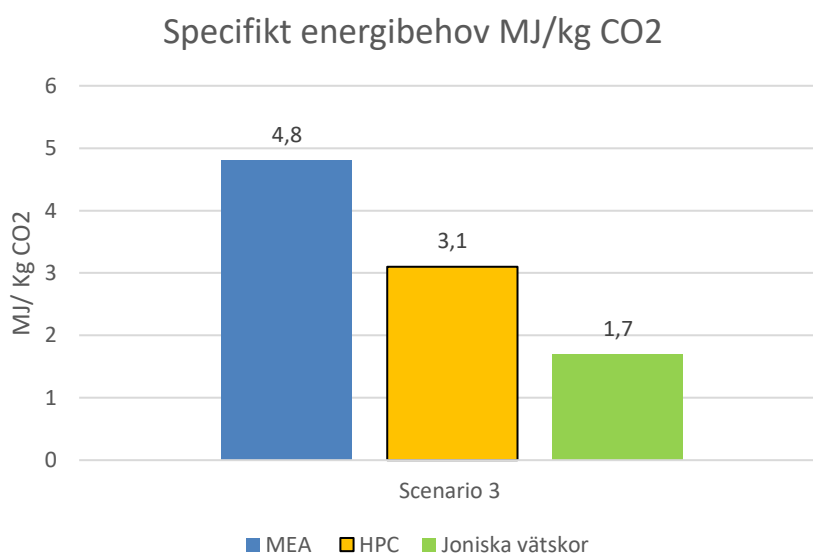
I Tabell 12 ses resultatet från studien som visar att MEA-tekniken har lägst elbehov med 0,24 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub>, högst värmebehov med lågtrycksånga på 1,09 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> och stort kylbehov. HPC-tekniken har högst elbehov med 0,55 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> för att avskilja och förvätska koldioxiden. HPC-teknikens ångbehov på 0,31 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> är betydligt lägre jämfört med MEA-tekniken. Joniska vätskor har ett likvärdigt elbehov som HPC med 0,46 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub>, men utan ångbehov vilket ger det totalt lägsta energibehovet. Studien visar att

Joniska vätskor har ett stort kylbehov på 3,0 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> då lösningen har en högre värmekapacitet jämfört med de andra teknikerna MEA och HPC.

**Tabell 12 Energibehovet för MEA, HPC och Joniska vätskor.**

<b>Teknik</b>	<b>Enhet</b>	<b>Scenario 3</b>
<b>MEA</b>		
El	MWh <sub>el</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,24
Lågtrycksånga	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	1,09
Kyla	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	1,05
<b>HPC</b>		
El	MWh <sub>el</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,55
Lågtrycksånga	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,31
Kyla	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,76
<b>Joniska vätskor</b>		
El	MWh <sub>el</sub> /ton CO <sub>2</sub>	0,46
Kyla	MWh <sub>te</sub> /ton CO <sub>2</sub>	3,0

MEA-tekniken har det lägsta elbehovet bland de tre teknikerna, men det högsta behovet av lågtrycksånga vilket gör att den kraftvärmeverkens el- och värmeproduktion minskar. Minskningen av elproduktionen beror på om lågtrycksångan kan tas ut på primär- eller sekundärsidan av ångturbinen. Det är en fördel om ångtuttaget kan tas från sekundärsidan för minst påverkan på elproduktionen.



**Figur 11 Totalt specifikt energibehov för att avskilja och förvätska koldioxid för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor.**

I Figur 11 ses det totala specifika energibehovet för el och lågtrycksånga för koldioxidavskiljning från KVV1 och KVV2 tillsammans. Totalt specifikt energibehov är högst för MEA med ca 4,8 MJ/kg CO<sub>2</sub>, för HPC är det 3,1 MJ/kg CO<sub>2</sub> och för Joniska vätskor är den ca 1,7 MJ/kg CO<sub>2</sub>.

### Kostnadsberäkningar

Investeringskostnadsestimeringar görs med hjälp av Aspen Capital Cost Estimator. I programmet genomförs beräkningar med utgång från utrustningskostnaden för de större processkomponenterna. Alla investeringskostnader justerades för att återspeglar den specifika processutrustningen som är i simuleringarna i denna studie.

Inflation justerades efter räkenskapsåret 2019 och valutakonverteringsfaktorer var 0,1 för att omvandla SEK till EUR och 0,9 för att konvertera USD till EUR. Annuitetsmetoden användes för att beräkna CAPEX, med en antagen kalkylränta på 8 % och en ekonomisk livslängd på 20 år. Årliga fasta driftkostnader på 3 % av CAPEX antogs.

**Tabell 13 Antagna ekonomiska parametrar**

<b>Ekonomiska parametrar</b>	<b>Enhet</b>	<b>Värde</b>
Ekonomisk livslängd	År	20
Ränta	%	8
Annuitetsfaktor	%	10
Driftkostnader	%	3

I Tabell 14 ses antagna produktionskostnader vid beräkning av driftkostnader, OPEX. Ett negativt värde på fjärrvärme i Tabell 14 innebär att det är en fjärrvärmeintäkt från restvärmen från.

**Tabell 14 Antagna produktionskostnader för beräkning av totalkostnad.**

<b>Produktionskostnader</b>	<b>Enhet</b>	<b>Värde</b>
Elektricitet	SEK/MWh	500
Lågtrycksånga	SEK/MWh	375
Fjärrvärme	SEK/MWh	-375
Högtrycksånga	SEK/MWh	400
Kylvatten	SEK/m <sup>3</sup>	0,2
Lösningssvåtska	SEK/ton	15 000

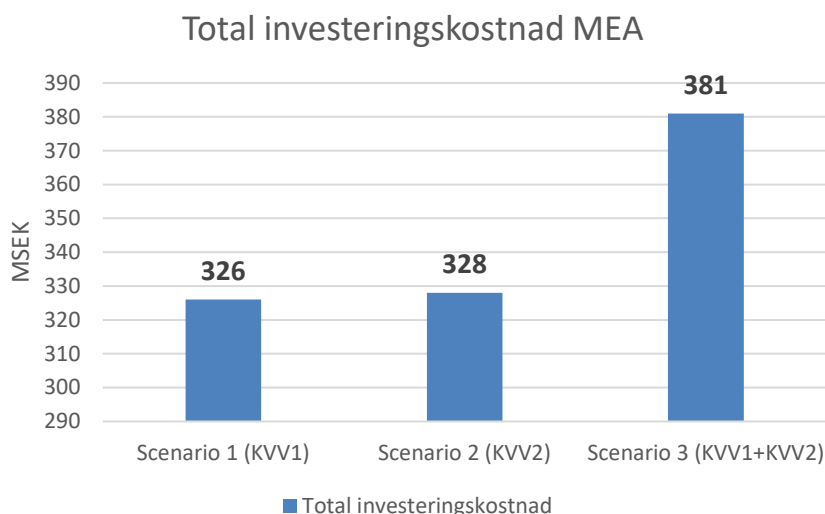
Känslighetsanalyser genomfördes för alla tre tekniker för en förståelse för hur olika parametrar som CAPEX och driftkostnader påverkar totalkostnaden för en koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning. Alla känslighetsanalyser finns i Bilaga 1.2 - Känslighetsanalys.

### Resultat kostnader

Kostnadskalkyler gjordes för en koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning för respektive teknik och scenario utifrån beräknat energibehov, processmodellering och antagna ekonomiska parametrar.

#### Kostnader MEA

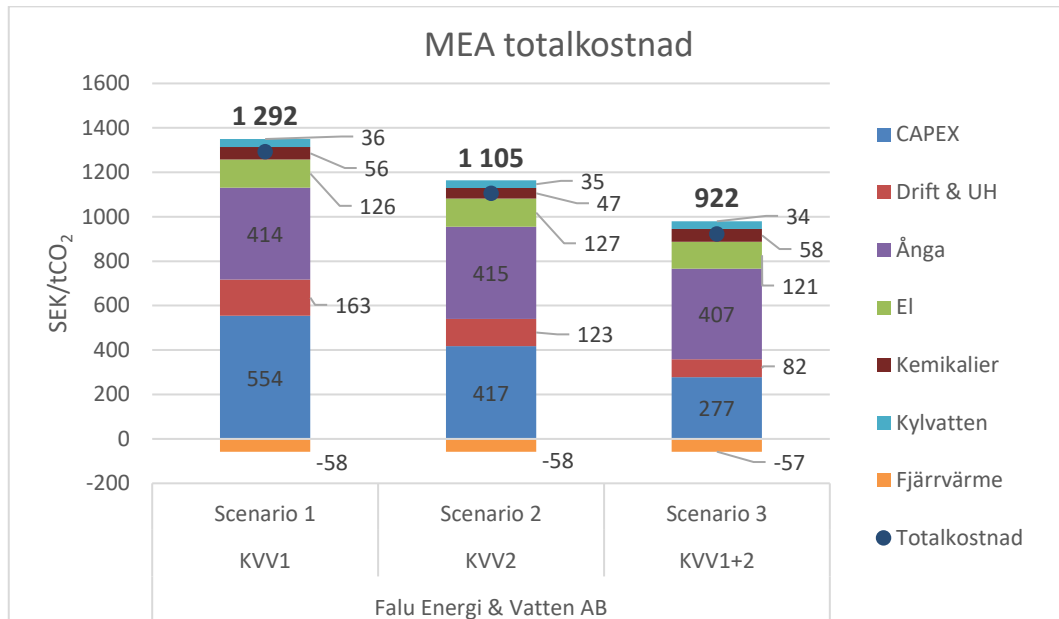
I Figur 12 ses total investeringskostnad för en koldioxidavskiljningsanläggning med förvätskning för MEA. För Scenario 1 blev beräknad investeringskostnad 326 MSEK och 328 MSEK för Scenario 2.



**Figur 12 Total investeringskostnad för MEA-tekniken för de olika scenarios.**

För Scenario 3 med en koldioxidavskiljningsanläggning för koldioxid från både KVV1 och KVV2 blev investeringskostnaden 381 MSEK.

I Figur 13 ses totalkostnadens uppdelning mellan CAPEX och OPEX. KVV1 har färre drifttimmar jämfört med KVV2 och en lägre nyttjandegrad vilket ger en högre totalkostnad för KVV1 på 1292 SEK/ton CO<sub>2</sub> jämfört med KVV2 på 1105 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Scenariot med lägst totalkostnad har Scenario 3 med 922 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

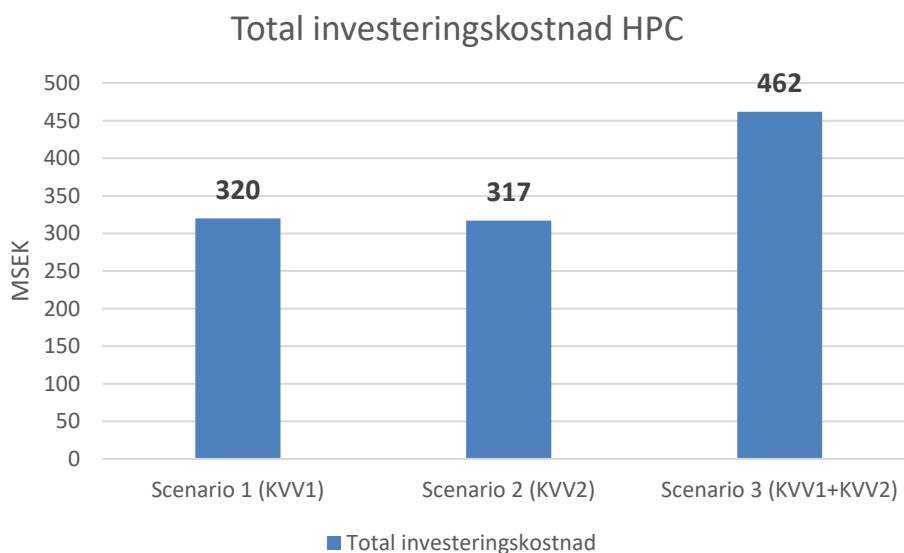


**Figur 13 Totalkostnad för avskiljning och förvätskning av koldioxid med MEA-tekniken.**

En stor del av totalkostnaden utgörs av driftkostnaderna, med en ångkostnad som sticker ut. I Scenario 3 är ångbehovet för nästan 50 % av totalkostnaden.

#### Kostnader HPC

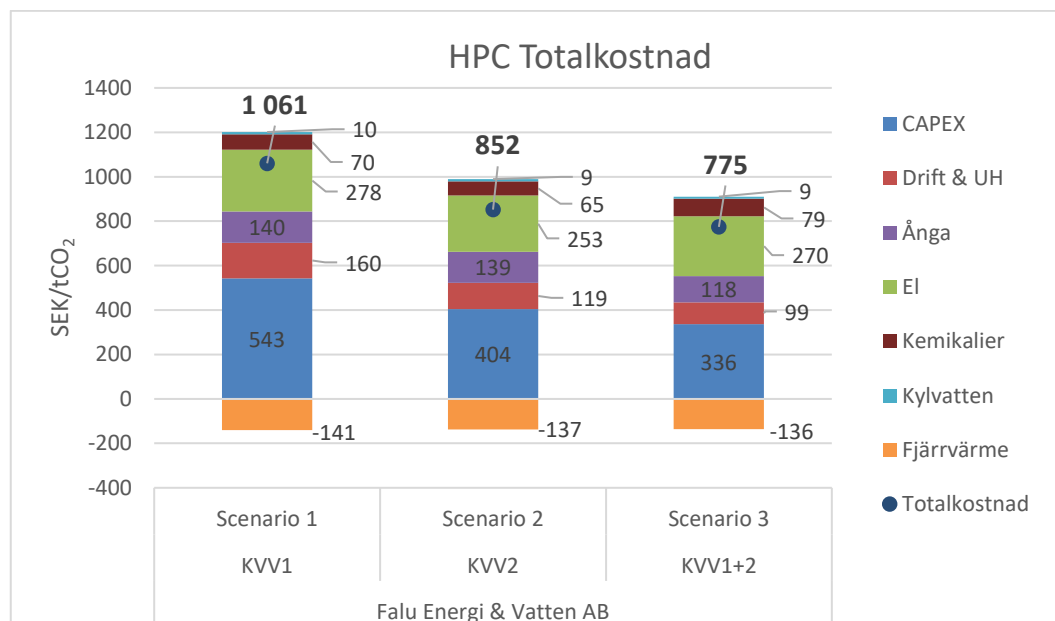
Den totala investeringskostnaden för HPC-tekniken är 320 MSEK för Scenario 1 och 317 MSEK för Scenario 2 (se Figur 14). Investeringskostnaden för Scenario 3 med koldioxidavskiljning med förvätskning från både KVV1 och KVV2 är 462 MSEK. Vid större volymer krävs större kompressorer och kostnaden ökar därefter.



**Figur 14 Total investeringskostnad för HPC-tekniken för varje scenario**

Den totala kostnaden för HPC är lägre för alla scenarios jämfört med MEA-tekniken. Ångbehovet är mindre och mer restvärme kan säljas som fjärrvärme vilket bidrar till att totalkostnaden minskar. HPC-tekniken är mer kapitalintensiv då tekniken kräver kompressorer till avskiljningsprocessen vilket gör att CAPEX-kostnaden blir högre jämfört med MEA-tekniken.

I Figur 15 ses totalkostnaden för HPC-tekniken för respektive scenario. Lägst totalkostnad har Scenario 3 med 775 SEK/ton CO<sub>2</sub> och Scenario 1 har den högsta totalkostnaden med 1061 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

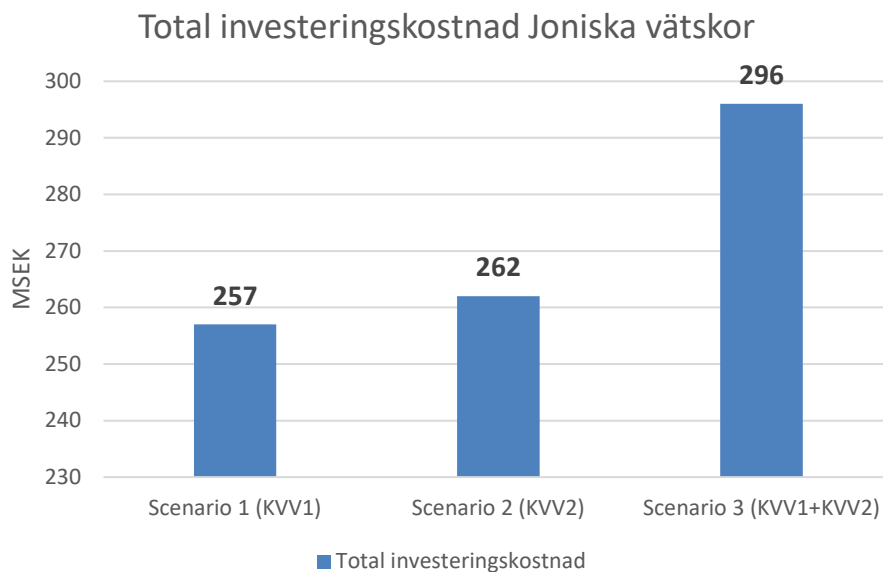


**Figur 15 Totalkostnad för avskiljning- och förvätskning av koldioxid med HPC-tekniken.**

Totalkostnaden påverkas av anläggningens drifttimmar och koldioxidvolym. Scenario 2 har en totalkostnad på 852 SEK/ton CO<sub>2</sub> vilket är väsentligt lägre än för Scenario 1 med 3000 färre driftstimmar.

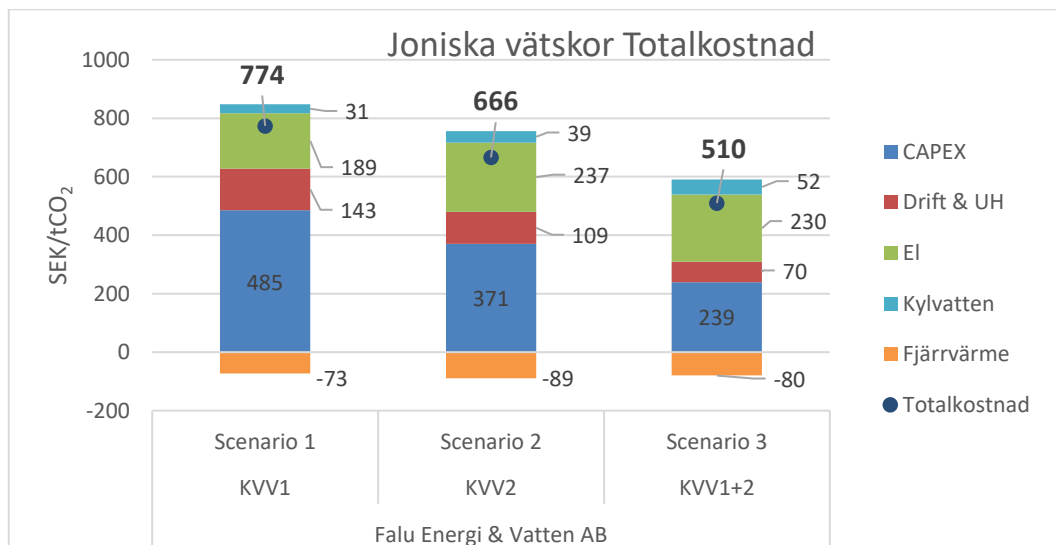
#### *Kostnader Joniska vätskor*

Joniska vätskor är en relativt ny och obeprövad teknik vilket innebär att osäkerheten kring kostnader är större än för teknikerna MEA och HPC som redan är etablerade på marknaden. I Figur 16 ses estimerad investeringskostnad för Joniska vätskor. För Scenario 3 är total investeringskostnad 296 MSEK beroende på valt scenario.



**Figur 16 Total investeringskostnad för HPC-tekniken för de olika scenariors.**

I Figur 17 ses totalkostnaden för Joniska vätskor. Den stora kostnadsskillnaden mellan Joniska vätskor jämfört med MEA och HPC är driftkostnaderna. Totalkostnaden är lägst för Scenario 3 med 510 SEK/ton CO<sub>2</sub>.



**Figur 17 Totalkostnad för avskiljning- och förvätskning av koldioxid med tekniken Joniska vätskor.**

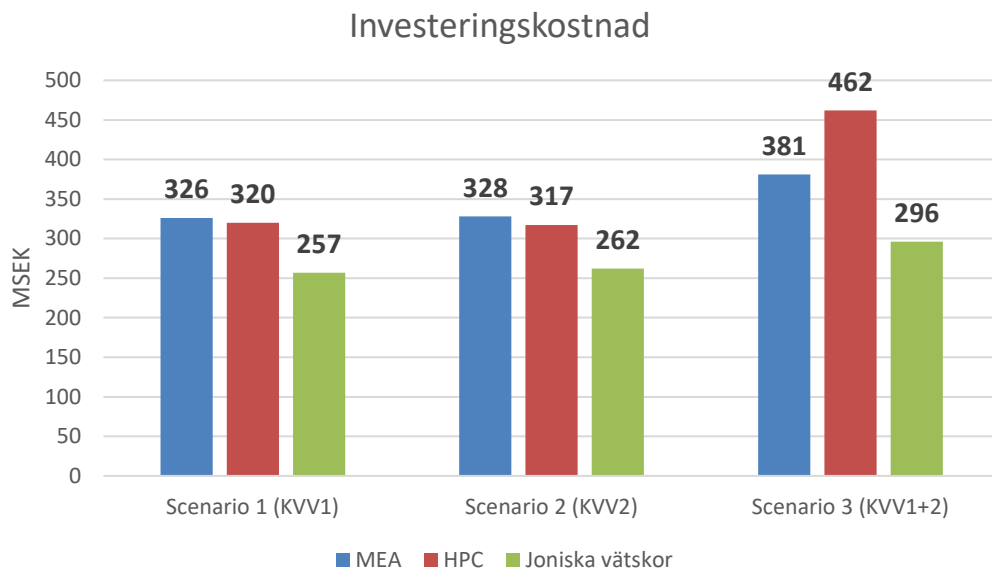
Elbehovet för Joniska vätskor är högre än MEA, men mindre än HPC. Då joniska vätskor inte erfordrar någon tillförd processvärme påverkar denna kostnadspost inte driftkostnaden och totalkostnaden.

Den estimerade CAPEX-kostnaden för Joniska vätskor har en stor osäkerhetsmarginal då tekniken inte finns i någon storskalig användning utan endast i mindre pilot-anläggningar.



### Jämförelse av kostnader

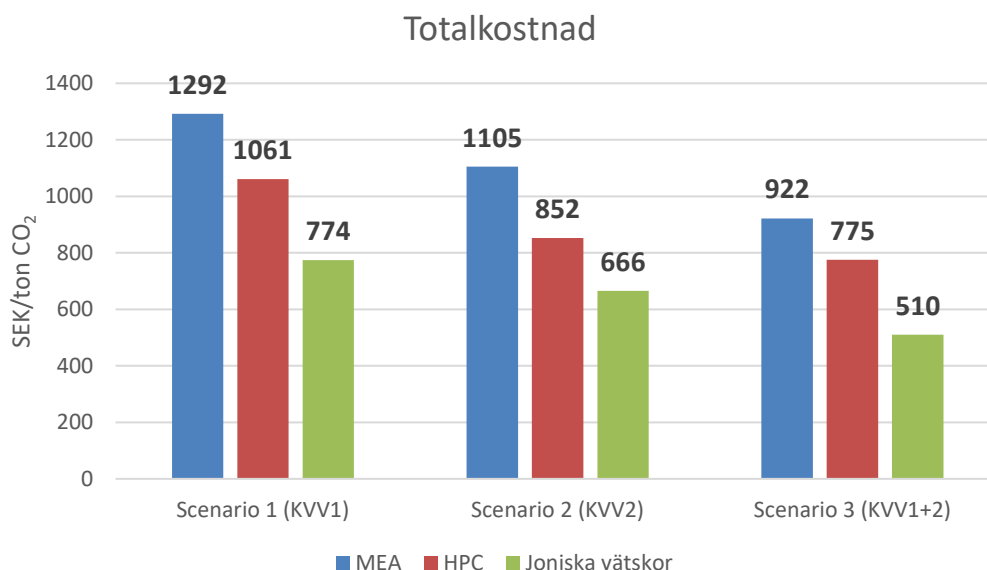
I Fel! **Hittar inte referensälla.** ses den totala investeringskostnaden för koldioxidavskiljning med förvätskning för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor för respektive scenario. Projektgruppen slutsats utifrån kostnadsberäkningarna är att det finns skalfördelar vid byggnation av en avskiljningsanläggning med koldioxid från KVV1 och KVV2 tillsammans. Joniska vätskor är den teknik som i studien har den lägsta investeringskostnad, men tekniken är också den som har störst osäkerhetsmarginal. MEA och HPC-tekniken finns redan på den kommersiella marknaden och därför har deras kostnader en mindre osäkerhetsmarginal jämfört med Joniska vätskor.



**Figur 18 Total investeringskostnad för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor.**

För Scenario 3 har Joniska vätskor en investeringskostnad på 296 MSEK följt av MEA-tekniken med 381 MSEK och HPC-tekniken med högst investeringskostnad på 462 MSEK.

Även den totalkostnaden som visas i Figur 19 visar på skalfördelar. Att avskilja all koldioxid från Västermalmsverket, från både KVV1 och KVV2, ger den lägsta avskiljningskostnaden per ton koldioxid. För Scenario 3 är MEA den teknik med högst totalkostnad på 922 SEK/ton CO<sub>2</sub>. För HPC-tekniken är totalkostnaden 775 SEK/ton CO<sub>2</sub> och för Joniska vätskor med den lägsta totalkostnaden så är priset 510 SEK för att avskilja och förvätska ett ton koldioxid.



**Figur 19 Totalkostnad (CAPEX+OPEX) för teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor för scenario 1,2 och 3.**

Projektgruppens reflektion är att totalkostnaden för koldioxidavskiljning med förvätskning för MEA och HPC är rimliga jämfört med tidigare studier. Det finns många faktorer som påverkar totalkostnaden och en fortsatt optimering- och integreringsstudie är en viktig del för att få ned totalkostnaden ytterligare.

### Anläggningsyta

En koldioxidavskiljningsanläggning med en förvätskningsanläggning för ca 140 000 ton koldioxid per år erfordrar anläggningsyta. Den specifika anläggningsytan som erfordras beror främst på hur optimering och integrering kommer att vara med befintlig anläggning. Uppskattad yta för en koldioxidavskiljningsanläggning och en förvätskningsanläggning byggd på plats är ca 1500 m<sup>2</sup> för avskiljningsdelen och ca 1000 m<sup>2</sup> för förvätskningsdelen. Totalt erfordras ca 2500 m<sup>2</sup> för hela anläggningen. Erforderlig anläggningsyta är i stort sett densamma oavsett om HPC- eller MEA-tekniken väljs.

Utvecklingen av koldioxidavskiljningsanläggningar har gått snabbt. Ett nytt koncept på marknaden idag är standardiserade modulära lösningar. Anläggningen för koldioxidavskiljning byggs då upp av flera mindre standardiserade moduler ofta i en containerlösning. Modulerna kräver mindre anläggningsyta jämfört med en traditionell anläggning där alla komponenter installeras på plats. En ytterligare fördel med en modulanläggning är att den kan skalas upp eller ner med enklare medel.



**Figur 20** Estimerad krävd anläggningsyta för en avskiljning- och förvätskningsanläggning för koldioxid på Västermalmsverket.

Figur 20 visar en karta över Västermalmsverket och erforderlig areal för en avskiljnings- och förvätskningsanläggning för koldioxid.

### Spillvärme från Ecodatacenter

Ett datacenter är en anläggning som används för att lagra, hantera och bearbeta stora mängder data och information elektroniskt. Datacenter har normalt stort el- och kylbehov, men det mesta av elanvändningen kan värmeåtervinnas som lågvärdig restvärme <85°C. Lågvärdig restvärme kan inte direkt nyttjas som fjärrvärme utan för det krävs installation av värmepumpar som omvandlar lågvärdig värme till högvärdig värme >85 °C. Återvinning av datacenters spillvärme kan öka systemets effektivitet öka den cirkulära ekonomin för datacentret.

I dag används restvärme från Ecodatacenter för att förvärma pelletsproduktionen vid Västermalmsverket, främst under hösten och vintertid. Volymerna är i dagsläget en begränsad mängd och temperaturen är lågvärdig, effekten är ca 500 kW och temperaturen är mellan 25–30 °C. Potentialen för större volymer och mer högvärdig värme >85 °C föreligger. Begränsningen för att nyttja spillvärmerna från datacenter i allmänhet är inte den tekniska lösningen, utan mer hur datacentret skapar en affärsmodell kring detta.

Ecodatacenter är idag i en växande fas och spillvärmerna från datacentret kommer i framtiden att öka till följd av en utökad kapacitet vilket resulterar i en ökad elanvändning. För att integrera och nyttja spillvärmerna från Ecodatacenter i en

koldioxidavskiljningsanläggning så räcker det inte med nuvarande konfigurerings utan volym och temperatur från datacentret måste öka markant. Det kan utföras med värmepumpar till en bekostnad av ökad elanvändning.

Studien har visat att de valda koldioxidavskiljningsteknikerna har olika värmebehov. Utvecklingen av koldioxidavskiljningstekniker fokuserar på att minska det tillförda värmebehovet och därmed kan nyutvecklade tekniker vara av intresse då en integrering med ett datacenter kan minska totalkostnaden för att avskilja- och förvätska koldioxiden.

Projektgruppen anser att det finns en potential att nyttja mer restvärme från Ecodatacenter till Västermalmsverket framöver. Om temperaturen från Ecodatacenter ökas ytterligare så kommer mer effekt till Västermalmsverket att gynna pelletsproduktionen, men den kan även vara intressant för en avskiljningsanläggning för koldioxid. Fortsatta studier rekommenderas för att se den framtida potentialen för restvärme från datacentret.

### Utvärdering

Resultatet av projektgruppens studier i AP1 teknik visar på både tekniska och ekonomiska skillnader bland de tre scenarierna för MEA, HPC och Joniska vätskor. Med studiens resultat i åtanke så presenteras följande rekommendationer:

**MEA-tekniken:** Trots dess höga ång- samt kylbehov uppvisar MEA-tekniken en imponerande avskiljningsgrad på 97,6 % av koldioxid från rökgaserna. Dess låga elanvändning per ton avskild CO<sub>2</sub> och etablerade status gör det till en mogen teknik med lägre risktagande. MEA-tekniken har ett större reglerområde och klarar av lastvariationer bättre jämfört med HPC-tekniken. En vidare undersökning på mer avancerade aminer i samband med en optimering- och integreringsstudie rekommenderas för att minska ångbehovet samt degradering av lösningen och för att förbättra effektiviteten ytterligare.

**HPC-tekniken:** Står emot föroreningar bättre än traditionell MEA men kräver en betydande ökning i elanvändning för att uppnå en effektiv och hög avskiljningsgrad av koldioxid. Optimeringar, såsom att minska kompressionskraven vid en acceptabel avskiljningsgrad mellan 85–90 %, kan vara en väg att utforska för att minska elbehovet och göra tekniken mer ekonomisk genomförbar. En större del av elanvändningen går också genom optimering och integrering att omvandla till värme om behovet finns.

**Joniska vätskor:** Trots att Joniska vätskor visar låga totala kostnader samt ett lägre specifikt energibehov för koldioxidavskiljning, bör osäkerheten kring kostnadsberäkningar och processmodellering beaktas. Tekniken är lovande, men dess status som en outvecklad teknik på den kommersiella marknaden kräver ytterligare forskning och validering.

MEA-tekniken, som tillhör gruppen aminer är en etablerad teknologi som är mogen med konkurrenskraftiga kostnader och en lägre riskprofil tack vare beprövad teknik. Det är den enda teknologin i studien som har fullskaliga

anläggningar i drift inom det undersökta segmentet. Aminbaserad teknik som MEA, erbjuder en effektiv avskiljning av koldioxid och en ökad flexibilitet i driftprofilen.

### Diskussion

Projektgruppen har tillsammans med RISE utfört mass- och energibalanser för koldioxidavskiljningsteknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor för tre olika scenarios med koldioxidavskiljning från KVV1 och KVV2 samt från KVV1 och KVV2 tillsammans.

Den tekniska studien har visat att en BioCCS-anläggning kommer att förändra nuvarande affärsmodell för Falu Energi & Vatten genom att minska el- och värmeproduktion genom tillverkan av en ny produkt, biogen koldioxid. Det är en stor variation på el- och ångbehovet för de olika koldioxidavskiljningsteknikerna.

Tekniken för att avskilja koldioxiden från rökgaserna är energikrävande. Resultatet för det totala specifika energibehovet för koldioxidavskiljning är mellan 1,7–4,8 MJ/kg CO<sub>2</sub> för de olika teknikerna MEA, HPC och Joniska vätskor. MEA har det högsta energibehovet med 4,8 MJ/kg CO<sub>2</sub>, HPC har ett energibehov på 3,1 MJ/kg CO<sub>2</sub> och Joniska vätskor har det minsta totala specifika energibehovet på 1,7 MJ/kg CO<sub>2</sub>. Då Joniska vätskor inte har något behov av extern lågtrycksånga till avskiljningsprocessen så minskar det specifika energibehovet markant. De specifika energibehoven för MEA samt HPC-tekniken anses vara högt då målet med studien har varit att uppnå en hög avskiljningsgrad av koldioxiden.

Den högsta koldioxidavskiljningsgraden fås med MEA-tekniken med vilken 97,6 % koldioxid kunde avskiljas från rökgaserna. MEA-tekniken sticker också ut med en lägre elanvändning på 0,24 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub> jämfört med HPC på 0,55 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub> och Joniska vätskor på 0,46 MWh<sub>el</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

Lågtrycksångan som krävs för teknikerna MEA och HPC är i studien mellan 3–5 bar (a). Det resulterar oftast i att ånguttaget är på primärsidan av ångturbin. Om ångbehovet är mindre med minskat värmebehov för avskiljningsprocessen så kan i vissa fall lågtrycksångan tas från sekundärsidan på ångturbin. Det resulterar i att den nuvarande elproduktionen inte påverkas. MEA-tekniken har ett högre ångbehov med 1,1 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub> jämfört med HPC-tekniken som behöver 0,31 MWh<sub>te</sub>/ton CO<sub>2</sub>.

Investeringskostnaden för att bygga en koldioxidavskiljning- och förvätskningsanläggning på Västermalmsverket är mellan 257–462 miljoner kronor beroende på teknikval och scenario. Investeringskostnaden för MEA-tekniken för koldioxidavskiljning från KVV1 och KVV2 tillsammans är ca 381 miljoner kronor och för HPC 462 miljoner kronor för samma scenario. Byggnationen av en enskild avskiljningsanläggning för både KVV1 och KVV2 resulterade i den lägsta totalkostnaden vilket indikerar på skalfördelar för investeringskostnaden.

Den avskiljningsteknik med lägst totalkostnaden var Joniska vätskor och Scenario 3 på 510 SEK/ton CO<sub>2</sub>. För MEA och HPC var totalkostnaden 922 SEK/ton CO<sub>2</sub> respektive 775 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Den lägre totalkostnaden för Joniska vätskor beror till stor del på att tekniken inte har något externt värmebehov av lågtrycksånga. Joniska vätskor är dock en outvecklad teknik som inte finns på den kommersiella marknaden vilket innebär att osäkerhetsgraden kring kostnader är stor.

Att installera en avskiljningsanläggning för full kapacitet på en anläggning med stora lastvariationer ökar totalkostnaden. Scenario 3, KVV1 och KVV2 tillsammans, kräver en stor koldioxidavskiljningsanläggning för att hantera volymen rökgaser som uppkommer när båda pannornas belastning är max. Att dimensionera koldioxidanläggningen för att fånga in koldioxiden vid maxkapacitet från KVV1 och KVV2 (100% last) resulterar i att avskiljningsanläggningen inte kommer att kunna fångas in koldioxid under tidsperioder med låg last. Det beror på att vissa komponenter i avskiljningsanläggningen inte är tillräckligt flexibla för att hantera den stora variationen av rökgasvolym som uppstår i detta scenario. För att komma runt detta problem så kan parallella komponenter installeras i avskiljningsanläggningen eller så sänker man kapaciteten på avskiljningsanläggningen (ton/h) vilket resulterar i att all koldioxid inte kommer att fångas in under tidsperioder med topplast men anläggningen kommer att klara tidsperioder då lasterna är som lägst.

Den teknik som är mest mogen och utvecklad är MEA. MEA-tekniken har ett högt ångbehov och lösningsvätskan degraderas av föroreningar i rökgaserna. Det finns idag många alternativa nya mer avancerade lösningsvätskor med lägre värmebehov och som är tåligare mot föroreningar i rökgaserna. MEA-tekniken har ett stort kylbehov då absorptionsprocessen drifas vid låga temperaturer (40 °C). HPC är en teknik som står bättre emot föroreningar mot den traditionella MEA-tekniken. En hög avskiljningsgrad på koldioxiden med HPC-tekniken >90 % kräver stora ökningar i elanvändning för avskiljningsprocessen. Studien har visat att för att uppnå en 95 % avskiljning av koldioxid så måste rökgaserna komprimeras till 15 bar. Kompressionen gör att HPC-tekniken har störst elbehov i studien. Om en lägre avskiljningsgrad är acceptabel, mellan 85–90% så kan kompressionen minskas till 6–8 bar vilket resulterar i en 20–25 % minskning av elbehovet för processen. Kompressorerna i HPC-tekniken gör även processen mer känslig för lastvariationer. Därför är HPC-tekniken mer lämpad för en anläggning som drifas med en hög och jämn last året om.

Joniska vätskor är en lovande tekniskprocess för koldioxidavskiljning. Det bör hållas i åtanke att osäkerheterna kring kostnadsberäkningar och processmodellering är mycket högre än de mer etablerade avskiljningsprocesserna MEA och HPC då tekniken fortfarande befinner sig under utveckling.

Då energiläget har förändrats sedan ansökan så finns det idag ingen överskottsel som kan nyttjas i samband med en avskiljning- och förvätskningsanläggning för koldioxid. Att ta vara på spillvärme från Ecodatacenter och integrera i en avskiljningsanläggning för koldioxid är en god idé men i dagsläget är det för låg temperatur och ett för litet flöde på inkommande restvärme. Fortsatta optimerings-

och integreringsstudier är nödvändiga i samverkan med Ecodatacenter för att undersöka den fulla potentialen.

### **Rekommendation**

Projektgruppen rekommenderar att Falu Energi & Vatten fortsätter utreda BioCCS med en mer avancerad amin-baserad teknik utifrån studiens resultat.

- Genomför en detaljerad teknisk utvärdering
  - Utför en djupare teknisk utvärdering av aminbaserad avskiljningsteknik.
- Optimera processparametrar
  - Identifiera och optimera relevanta processparametrar för att öka avskiljningseffektiviteten och minska energikraven.
- Utvärdera kostnadseffektivitet
  - Gör en ekonomisk analys för att bedöma kostnadseffektiviteten av att implementera aminbaserad avskiljningsteknik från olika leverantörer. Ta hänsyn till både investeringskostnader och driftkostnader.
- Miljöpåverkan och hållbarhet
  - Analysera miljöpåverkan av BioCCS anläggningen med amin-tekniken och bedöm dess hållbarhet.

Teknikutvecklingen inom koldioxidavskiljning och förvätskning sker kontinuerligt och på sikt minskar förhoppningsvis kostnaden för att avskilja ett ton koldioxid och förvätska den. Med en projektfortsättning med processoptimeringar kan även Falu Energi & Vattens kostnader för koldioxidavskiljning att minska.

### **AP2 Tillstånd**

Inom Arbetspaket 2 har nödvändiga tillstånd som krävs för en koldioxidavskiljningsanläggning utvärderats och omvärldsbevakning gällande framtida krav för koldioxidinfångning gjorts. I arbetsgruppen ingick personal från Klimpo, Falu Energi & Vatten samt konsulter och jurister.

### **Kraftvärmeverket Västermalmsverket**

Kraftvärmeverket Västermalmsverket är beläget i närheten av Falun centrum. Anläggningen består av två biobränsleldade pannor, två gaspannor och två oljepannor. I anslutning till pannorna finns också en pelletsfabrik och en absorptionskylmaskin som producerar fjärrkyla. Även dessa drivs av Falu Energi & Vatten.

De två biobränsleeldade pannorna består av kraftvärmeverk 1 (KVV1) om 35 MW och kraftvärmeverk 2 (KVV2) om 45 MW. KVV1 eldas med rent, obehandlat biobränsle i form av grot, trädelsflis, stamvedsflis, spån och bark. Bränslet för KVV2 består av skogsbruksavfall i form av spån grot, bark, samt returträ. Andelen avfall i bränslet får vara högst 50 % av den årligen tillförda bränsleenergin. Och den totala mängden avfallsklassade träbränslen får vara högst 32 000 ton per år. Ingen andel av avfallet är klassat som farligt avfall.

#### *Miljötilstånd och villkor*

KVV1 togs i bruk år 1993 och KVV2 sattes i drift år 2006. Villkoren för anläggningen omprövades i ett miljötilstånd från den 7 maj 2009<sup>23</sup>. I ändringstillstånd fattat den 9 juli 2015<sup>24</sup>, gavs bland annat tillstånd till en effektökning för KVV2.

Villkoren inkluderar till exempel: bränsle, lagring, utsläpp till luft och vatten, buller, samt hantering av aska, avfall och kemikalier. Falu Energi & Vatten skall även kartlägga sin energianvändning och arbeta för att effektivisera denna.<sup>25</sup>

På anläggningen finns även två gasoeldade hetvattenpannor, HVC Syran, för spetslast på vardera 13 MW, och två oljeeldade hetvattenpannor, HVC Reserv, för reservlast på vardera 17 MW<sup>26</sup> (totalt 60 MW). I den här förstudien utreds koldioxidavskiljning för KVV1 och KVV2. De gasol- och oljeeldade pannorna ingår inte i förstudien.

KVV1 samt HVC Syran och HVC Reserv faller under kod 40.50-i B i 21:9 § Miljöprövningsförordningen (MPF) (2013:251) MPF. KVV2 är en avfallsförbränningsanläggning och faller under kod 90.210-i med tillståndsplikt B i 29:11 § MPF. Anläggningen är så kallad IED-verksamhet som bland annat omfattas av bestämmelser i industriutsläppsförordningen (2013:250). Man skall, utöver villkoren i tillståndet, även följa relevanta BAT-slutsatser och använda de tekniker som beskrivs i BREF-dokument angående utsläpp från lagring, etc.

#### *Koldioxidutsläpp från Västermalmsverket*

De årliga utsläppen av biogen koldioxid från KVV1 beräknas vara ca 60 000 ton och utsläppen från KVV2 ca 80 000 ton/år. Totalt finns en potential att avskilja ca 140 000 ton biogen koldioxid från Västermalmsverket.

#### **Bygglov för avskiljningsanläggningen**

För anläggandet av nya byggnader för avskiljning, förvätskning och lagring av koldioxid i anslutning till Västermalmsverket krävs bygglov.

---

<sup>23</sup> Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, 7 maj 2009, dnr: 551-4331-08

<sup>24</sup> Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, ändringstillstånd, 9 juli 2015, dnr: 551-135-2015

<sup>25</sup> Villkor 20, Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, 7 maj 2009, dnr: 551-4331-08

<sup>26</sup> Effekt på vardera HVC Reserv panna är idag 14,8 MW.



Kraftvärmeverket ligger på fastigheten Syrafabriken 2 i Falu kommun. Enligt översiktsplanen ingår området i Falu tätort.<sup>27</sup> Närliggande bostäder finns i norr, i Stenslund, ca 600 m bort samt på andra sidan motorleden, i området Gamla Herrgården, ca 300 m bort. Kraftvärmeverket är beläget väster om Hanröleden/E16 som är av riksintresse för kommunikationer.

Detaljplan för området antogs 2015.<sup>28</sup> I detaljplanen framgår att det finns potential att expandera verksamheten norr om kraftvärmeverket. Här anges att ny bebyggelse skall utformas med samma karaktärsdrag som de befintliga byggnaderna.

Generellt sett tillämpas en byggnadshöjd på 12 m för fastigheten Syrafabriken 2, medan det reserverade området norr om anläggningen har en högsta tillåtna byggnadshöjd på 45 m. Strax nordöst om detta område finns ett förorenat markområde där ingen bebyggelse får ske som kräver schaktåtgärder eller grundläggning.

När en klarare bild av var anläggningen kommer att placeras och dess beräknade storlek har framkommit, rekommenderas en översyn av den aktuella detaljplanen. Detta för att bedöma om det behövs detaljplansändringar för byggandet av anläggningen och lagret, till exempel med anledning av ytan, anläggningens höjd samt avståndet till tomtgränsen. Ett eventuellt samråd för detaljplanen kan samordnas med samrådet för miljötillståndet.

### **Miljötillstånd för avskiljningsanläggningen**

Miljötillstånd krävs för uppförandet av en anläggning för koldioxidavskiljning, förvätskning samt lagring av koldioxid på KVV1 och på KVV2.

Avskiljning av koldioxidflöden är miljöfarlig verksamhet och har tillståndspflicht B i MPF. Beslutande myndighet är Miljöprövningsdelegation vid Länsstyrelsen i Dalarnas län. För industriutsläppsverksamheter gäller verksamhetskod 90.500-i för avskiljning av koldioxidströmmar för geologisk lagring av koldioxid (29:62 MPF).

### ***Nytt tillstånd eller ändringstillstånd***

I dagsläget finns ingen regel eller något 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. Handläggningstiden för ändringstillstånd är kortare än för ett nytt tillstånd. I samrådet med länsstyrelsen avgörs huruvida ett nytt tillstånd måste sökas eller om uppförandet faller under ett ändringstillstånd.<sup>29</sup>

---

<sup>27</sup> Översiktsplan för området antagen 2014-06-12.

<sup>28</sup> Kommunfullmäktige, Detaljplan för verksamhetsområde på syrafabriksområdet väster om E16, Falu kommun, Dalarnas län, 15 december 2015.

<sup>29</sup> Samtal med Naturvårdsverket per telefon 18 maj 2022.

Falu Energi & Vatten har haft planer på en framtida utbyggnad av Västermalmsverket och har i sådana diskussioner beaktat att behov föreligger för en ansökan om nytt tillstånd för anläggningen. Som jämförelse har andra energiföretag som planerar för koldioxidavskiljningsanläggningar (Stockholm Exergi och Söderenergi) valt att avgränsa ansökan till ett ändringstillstånd.<sup>30</sup> En lösning kan vara att ansöka om ändringstillstånd för koldioxidavskiljningsanläggningen och avvakta med ansökan om nytt tillstånd fram tills ett nytt kraftvärmeverk (KVV3) skall uppföras. En sådan lösning har till exempel valts av Söderenergi. Behovet av att ansöka om ett nytt tillstånd kommer övervägas i en framtida genomförbarhetsstudie.

### *Prövningsinstans*

Om tillståndsansökan endast omfattar en B-verksamhet, här avskiljning för geologisk lagring, finns det anledning att diskutera huruvida det är att föredra att en tillståndprocess för koldioxidavskiljning görs hos Länsstyrelsen eller Mark- och Miljödomstolen (MMD). Falu Energi & Vatten har sedan tidigare god dialog och bra erfarenhet av att arbeta med miljöprövningsdelegation vid Länsstyrelsen i Dalarnas län.

### *Miljöbedömning*

Uppförandet av koldioxidavskiljningsanläggningen 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 MB eftersom verksamheten är tillståndspliktig enligt 29 kap 62 § MPF. Falu Energi & Vatten kan därför i ansökningsprocessen bortse från undersökningssamrådet och börja med avgränsningssamrådet.

Vid avgränsningssamråd skall samrådet påbörjas och samrådsunderlaget lämnas i så god tid för att möjliggöra en diskussion med myndigheten och andra intressenter innan Falu Energi & Vatten utformar miljökonsekvensbeskrivningen och den slutliga tillståndsansökan.

### **Villkor i miljöstillståndet**

#### *Koldioxidutsläpp*

Myndigheterna har rätt 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 § miljöbalken (MB).

#### *Lager för avskild koldioxid*

Villkoren för miljöstillståndet skall omfatta hanteringen av koldioxiden i verksamheten och då även säkerställa att lagringen av koldioxiden sker på ett

---

<sup>30</sup> Se avsnitt Omvärldsbevakning – pågående tillståndprocesser nedan.

säkert sätt. Koldioxid är tänkt att förvaras nedkyld i trycksatta lagertankar på området. Storlek och plats för mellanlagret är inte beslutat.

Vid ett eventuellt läckage av koldioxid finns risk för bland annat kvävning. Vid närmare utredning av var lagringsplatsen för koldioxiden skall förläggas bör höjdskillnaden för anläggningen och bebyggelsen i Falun beaktas. Närliggande bebyggelse i öster ligger cirka 17 höjdmeter nedanför anläggningen. Koldioxid som läcker ut formar ett gasmoln som är tyngre än luft och därför sjunker nedåt. Ett eventuellt koldioxidutsläpp bör förhindras från att följa slutningen i riktning mot bebyggelsen i Falun. En lösning som kan utredas är möjligheten att avleda koldioxiden till en dagvattendamm i anslutning till fastigheten. Riskerna för läckage och åtgärder för att minimera en olycka bör utredas närmare inför tillståndsprocessen.

#### *Mätpunkter*

Pannorna KVV1 och KVV2 har pipor i varsin skorsten. Rökghalterna, med undantag för stoft, mäts innan rökghaskondenseringen, och innan de går upp i skorsten. Pannorna KVV1 och KVV2 har gränsvärden för utsläpp till luft i miljötillståndet och tillämplig lagstiftning. Emissioner från anläggningen bevakas som en halt i gasmängd.

Vid koldioxidavskiljning minskar mängden rökgaser och koncentrationen av föroreningar kan öka, även om den totala mängden föroreningar förblir densamma. Detta väcker frågor om huruvida en anläggning kan möta sina ursprungliga villkor för utsläpp även efter koldioxidavskiljningen. En lösning för att visa detta skulle vara att ha en mätpunkt innan koldioxidavskiljningen. Därutöver bör en mätpunkt införas efter koldioxidavskiljningen för att säkerställa att eventuella nya villkor för utsläpp till luft (av nya ämnen) också uppfylls. Stockholm Exergi har i sin ansökan för miljötillstånd för en koldioxidavskiljningsanläggning i Värtahamnen noterat att volymflödet och rökghastigheten minskar efter avskiljning. Samtidigt förväntas avskiljningen medföra en rening av rökgasen med minst 10 % för samtliga ämnen. Stockholm Exergi räknar därför med att klara nuvarande villkor även efter avskiljning.<sup>31</sup>

#### *Buller*

Arbetsgruppen för teknik, AP1, har presenterat ett förslag med användning av värmepumpar. Arbetsgruppen gör bedömningen att sådana värmepumpar och avskiljningsanläggningen i sig inte bör ge upphov till buller som överstiger tillämpliga gränsvärden. Detta bör kontrolleras närmare i en framtida genomförbarhetsstudie.

#### *Avfall och restprodukter*

Processkemikalierna i en avskiljningsanläggning innehåller olika tillsatser och egenskaper, vilket gör att degradering sker i olika hastigheter beroende på omgivningen i processen. Det förekommer alltid en viss degradering av en

---

<sup>31</sup> s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning

absorptionsvätska. Det förekommer betydande variationer både i vilka restprodukter som produceras och i vilken utsträckning detta sker, beroende på den specifika avskiljningstekniken. Vidare varierar föroreningar i rökgaser beroende på typen av bränsle som förbränns, och olika sammansättningar av rökgaser kan resultera i olika avfallsprodukter. Restprodukter kan uppgå till 0,1–1 kg /ton avskild koldioxid.

Som exempel kan nämnas att lösningsvätskan i HPC-tekniken kan användas med och utan tillsatser. Om inga tillsatser används så är den primära avfallsprodukten Heat Stable Salts i form av kaliumsulfat och kaliumnitrat. Dessa restprodukter kan eventuellt användas som gödning inom jordbruksområdet. Används tillsatser i lösningsvätskan så behöver ytterligare tester göras eftersom kompositionen på avfallet kan förändras. Om aminer används i processkemikalierna kan dessa generera sot, sulfat samt nitrat, vilket bildas från föroreningar i rökgaserna som exempelvis SO<sub>2</sub> samt NO<sub>x</sub>.<sup>32</sup> Heat stable salts bildas även i denna process samt fasta ämnen och andra utfällningar.<sup>33</sup> Rökgaserna ut från process kan eventuellt även ge utsläpp av nitroaminer, vilket i höga koncentrationer kan vara cancerogena.

Falu Energi & Vatten behöver öka sin kunskap om de ämnen och restprodukter som uppstår under avskiljningsprocessen när teknikvalet förfinas under genomförbarhetsstudien.

### Sevesolagstiftning

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

Falu Energi & Vatten omfattas av Sevesolagstiftningen med anledning av en gasoldepå på Skyfallsvägen i Falun. Gasolen av typen Propan 95 är bränsle för de två gasoleldade hetvattenpannorna, HVC Syran. Gasolen levereras i vätskefas med tankbil och förs sedan vidare från lagret via en markledning till Västermalmsverket. Gasoldepån ligger cirka 1,2 kilometer från kraftvärmeverket.

Ämnen som omfattas av Sevesolagen finns uppräknade i Bilaga 1 i förordning (2015:236) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor. Bilagan hänvisar till den standardiserade klassificeringen av ämnen som är antagen i CLP<sup>34</sup>. Som exempel kan nämnas att gaser som är klassificerade som brandfarliga, explosiva eller oxiderande omfattas av Sevesolagstiftningen över en viss mängd. Det finns två kravnivåer som är satta

---

<sup>32</sup> S. Wang, J. Hovland and R. Bakke (2013) Anaerobic degradation of carbon capture reclaimer MEA waste

<sup>33</sup> Alireza Bahadori (2014) Natural Gas Sweetening

<sup>34</sup> 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.

beroende på vilken fara ett visst ämne representerar vid förvaring och hantering av sådan mängd.

Koldioxid<sup>35</sup> är inte klassificerat i sådan farokategori som nämns i Sevesolagstiftningen.<sup>36</sup> Koldioxid omfattas således inte av Sevesolagstiftningen.

#### *Kemikalier för avskiljningsprocessen*

Falu Energi & Vatten har inte slutligt avgjort vilken avskiljningsteknik som är bäst lämpad för Västermalmsverket. Tre olika processer ingår i förstudien: MEA (Monoetanolamin); HPC (Hot potassium carbonate, kaliumkarbonat); och Joniska vätskor. Enligt uppgifter från arbetsgruppen för teknik så behöver en anläggning ungefär 40 ton processkemikalier för att avskilja 100 000 ton koldioxid per år.

Om koldioxidavskiljning införs på både KVV1 och KVV2 antas att det kontinuerligt kommer att behövas cirka 56 ton kemikalier i avskiljningsprocessen. På grund av degradering av processkemikalierna behöver mellan 0,1-0,5 kg processkemikalier/ ton avskild koldioxid fyllas på. Siffran varierar beroende på halten föroreningar i rökgaserna. Räknat i det lägre spannet är siffran cirka 14 ton per år och i det högre cirka 70 ton per år. Under Sevesolagen har vissa särskilt farliga (icke namngivna) ämnen restriktioner från och med fem ton medan vissa namngivna kemikalier har mycket lägre trösklar.<sup>37</sup> För de tre olika avskiljningsteknikerna i förstudien finns olika varianter av lösningsvätskor som kan användas beroende på vilka specifikationer som avskiljningsanläggningen får och vem som tillhandahåller kemikalierna. Dessutom kan katalysatorer behöva tillsättas för att förbättra avskiljningen.

Huruvida processkemikalierna faller under Sevesolagstiftningen eller inte behöver utredas närmare i en genomförbarhetsstudie i vilken Falu Energi & Vatten kan undersöka huruvida vald teknik ger upphov till skyldigheter under Sevesolagstiftningen. Även mindre mängder kan behöva utredas när samverkan med andra kemikalier utvärderas hos Falu Energi & Vatten eller andra närbelägna verksamheter.

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

#### **Omvärldsbevakning: Pågående tillståndsprocesser**

Flera kraftvärmeverk och andra industrier i Sverige undersöker för närvarande möjligheten att avskilja koldioxid för permanent lagring. Många projekt genomför förstudier, medan andra företag har gått längre i processen. Nedan presenterar vi tre koldioxidavskiljningsprojekt som har påbörjat sina miljötillståndsprocesser.

---

<sup>35</sup> Koldioxid, Carbon dioxide CAS no. 124-38-9, EC no 204-696-9

<sup>36</sup> Se EUs Classification and Labelling Inventory där koldioxid har Hazard Statement Codes: H280 alt H281

<sup>37</sup> Se även avsnitt ”Stockholms Exergi - Värtahamnen” för en jämförelse av mängden processkemikalier som beräknas vara mycket högre där.

### Vattenfall AB – Jordbro

Vattenfall AB planerar uppförande av en koldioxidavskiljningsanläggning utanför Stockholm vid Jordbro kraftvärmeverk i Haninge kommun.<sup>38</sup> Den nya koldioxidavskiljningsanläggningen förväntas vara i drift senast år 2030 och uppföras vid befintlig förbränningsanläggning med en beräknad kapacitet på ca 150 000 ton infångad biogen CO<sub>2</sub> per år, ca 25 ton CO<sub>2</sub>/h. Nuvarande tillstånd från Mark- och miljödomstolen är från år 2008.

Vattenfall lämnade in en ansökan om miljötillstånd till Mark- och miljödomstolen den 9 januari 2024.<sup>39</sup>

Valet av teknik för koldioxidavskiljning är inte gjort, men Vattenfall AB redovisar att tornet för anläggningen kommer att vara mellan 40 och 70 meter högt. Mellanlagret bedöms uppgå till cirka 1 000 m<sup>3</sup>.<sup>40</sup> Transport kommer att ske antingen med tåg eller lastbil från anläggningen för vidare transport med fartyg. Total yta för anläggningen beräknas uppgå till 5000 m<sup>2</sup>.

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.<sup>41</sup>

### 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 CO<sub>2</sub> per år.<sup>42</sup>

I november år 2021 beslutades att projektet får stöd av EU:s innovationsfond. Samrådsunderlaget i tillståndsprocessen under miljöbalken publicerades i augusti 2022.<sup>43</sup> De lämnade in ansökan hos Mark och miljödomstolen i Nacka den 3 april år 2023. Huvudförhandlingen i tillståndsärendet är preliminärt bokad till 6-7

---

<sup>38</sup> Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06

<sup>39</sup> Vattenfalls ansökan lämnades in efter att slutrapporten för projektet ”BioCCS i det smarta energisystemet i Falun” redovisats inom projektgruppen. Texten i den här slutrapporten är baserad på tidigare tillgänglig information i samrådsunderlaget.

<sup>40</sup> s 12-13, ibid.

<sup>41</sup> s 14, ibid.

<sup>42</sup> s 33, ibid.

<sup>43</sup> Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19

februari 2024.<sup>44</sup> De planerar att ta ett investeringsbeslut efter att ha erhållit miljötillstånd.<sup>45</sup> Effektiv byggnadstid beräknas till 3 år.

Stockholm Exergi har ansökt 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. Dessutom anser de att ändringen är väl avgränsad då avskiljningen endast utgör ett extra reningssteg till verksamheten som kan utnyttjas vid behov.<sup>46</sup> Stockholm Exergi har valt HPC-tekniken med kaliumkarbonat för koldioxidavskiljningen. I ett tidigare skede undersökte de två andra alternativ: aminer och kyld ammoniak processer. Under vinterhalvåret skall överskottsvärmen distribueras i fjärrvärmesystemet och på sommaren skall den kylas i sjövattnet från Lilla Värtan.

Stockholm Exergi planerar för absorbent- och desorbenttorn för avskiljningsanläggningen med höjden 80 m respektive 100 m och 9 m i diameter. Byggnadshöjden för avskiljningsanläggningen är 22 m. Den totala ytan för BioCCS-verksamheten beräknas till ungefär 13 000 m<sup>2</sup>.<sup>47</sup>

Den avskilda koldioxiden kommer att transporteras via rör inom området till en kaj där ett mellanlager kommer att byggas. Mellanlagret kommer att bestå av åtta tankar med en kapacitet på ca 2000 m<sup>3</sup> vardera. Mellanlagret kommer att skärmas av med tät avskärmning vars funktion är att leda ner koldioxid till vattnet vid ett eventuellt utsläpp. Avskärmningen kommer också att uppfylla funktionen av påkörningskydd.<sup>48</sup>

Stockholm Exergi har beräknat att avskiljningen medför en rening av rökgasen med minst 10 % för samtliga ämnen. Resterande rökgaser, efter avskiljning, skall ledas ut i den befintliga skorstenen (143 m hög).<sup>49</sup> Cirka 2 400 ton kemikalier behövs i processen (inklusive vatten) och absorbentåtgången beräknas till ca 120 - 240 ton per år.<sup>50</sup>

### *Söderenergi – Igelstaverket*

Söderenergi planerar för en koldioxidavskiljningsanläggning på Igelstaverket i Södertälje. Samrådsmöte med myndigheter och allmänheten har hållits under hösten 2023 och kommentarer på samrådsunderlaget kunde lämnas fram till

---

<sup>44</sup> Nacka Tingsrätt, MMD, Kungörelse 2023-09-15, aktbilaga 33, M2479-23

<sup>45</sup> 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/>

<sup>46</sup> s. 19, Stockholm Exergis ansökan om miljötillstånd, aktbilaga 1, M2479-23

<sup>47</sup> s 67-68, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning

<sup>48</sup> s. 135, ibid.

<sup>49</sup> s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning

<sup>50</sup> s. 77-78, ibid.

december 2023. Inget sevesosamråd kommer att hållas. Ansökan beräknas lämnas in under tredje kvartalet 2024.<sup>51</sup>

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

Söderenergi avser att ansöka om ett ändringstillstånd. De betraktar ändringen som en mindre, väl avgränsad ändring, som innebär ett extra reningssteg. Förutom koldioxid kommer även andra emissioner såsom svaveldioxid och kvävedioxider att minska.<sup>52</sup> Vidare planerar Söderenergi för ett nytt kraftvärmeblock inom en femårsperiod. I anslutning till detta avser Söderenergi ansöka om ett helt nytt tillstånd för hela anläggningen.<sup>53</sup>

Söderenergi redovisar två olika tekniklösningar, aminer och HPC. Slutligt teknikval har ännu inte gjorts. Under hösten 2023 genomförs fördjupade utredningar av vilken påverkan en aminprocess har på Igelstaverkets verksamhet. Beslut om vilken teknik som skall användas för koldioxidavskiljning på Igelsta kommer att fattas när utredningen är klar. Det är något oklart i samrådsunderlaget huruvida teknikvalet görs innan tillståndsansökan lämnas in eller om de ämnar göra ansökan med en redovisning av två tekniklösningar. Det faktum att den fördjupade utredningen utförs under hösten 2023 och ansökan planeras först mot slutet av 2024 talar för att teknikvalet görs innan miljötillståndsansökan in.<sup>54</sup>

Kraftvärmeverket (IKV) eldas till största del med biobränsle men det är av intresse att även en andel av bränslet är av fossilt ursprung. Anläggningen kommer därmed att kunna avskilja ytterligare 100 000 ton koldioxid per år med fossilt ursprung. Samrådsunderlaget ger ingen ytterligare information om hur Söderenergi avser att hantera beräkning av respektive del och redovisning i olika system.<sup>55</sup>

Avskiljningsanläggningen kommer få en ny, ca 120 hög, skorsten. Rökgaserna beräknas öka i koncentrationen men inte tillräckligt mycket för att överstiga nuvarande villkor eller tillämpliga BAT slutsatser.<sup>56</sup>

För att bestämma utformning och placering av lagertankarna för koldioxiden utförs datorsimuleringar av läckage.<sup>57</sup>

---

<sup>51</sup> s. 38, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.

<sup>52</sup> s. 7–9, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.

<sup>53</sup> s. 9, ibid.

<sup>54</sup> s. 18–19, ibid.

<sup>55</sup> s. 6 och s. 15, ibid. Den informationen vi har idag om framtida statligt stöd i form av omvända auktioner talar för att endast den biogena koldioxiden kan uppbära stöd. Den fossila delen kommer antagligen kunna avräknas i till exempel i ETS systemet.

<sup>56</sup> s. 25–26, ibid.

<sup>57</sup> s. 24, ibid. En så kallad computational fluid dynamic simulering.



## Diskussion

Falu Energi & Vatten behöver bygglov och miljötillstånd för att uppföra en avskiljningsanläggning med förvätskning och lager på Västermalmsverket.

En ansökan om miljötillstånd måste bland annat innehålla en specifik miljöbedömning och en miljökonsekvensbeskrivning. Ansökan skall föregås av ett avgränsningssamråd till vilket ett samrådsunderlag skall tas fram. Arbetsgruppen uppskattar att 1–2 års förberedelse krävs innan ansökan om miljötillstånd kan lämnas in. Därefter uppskattas prövningen pågå mellan 1–2 år.

Prövningen av koldioxidavskiljningsanläggningar är nytt i Sverige, både för energiföretagen och myndigheterna. Det ser i nuläget ut som att många energiföretag föredrar att göra en ändringstillståndsansökan och att använda sig av mark- och miljödomstolen. Falu Energi & Vatten kan eventuellt ansöka om ändringstillstånd för koldioxidavskiljningsanläggningen i ett första skede och avvakta med ansökan om nytt tillstånd fram till dess att ett nytt kraftvärmeverk (KVV3) skall uppföras. En annan möjlighet är att uppförandet av de båda sammanfaller och då göra en ansökan för båda.

Nästa steg för Falu Energi & Vatten i tillståndsprocessen är att inleda en genomförbarhetsstudie. I den studien bör miljöaspekterna för ett eller två teknikalternativ undersökas närmare. Detaljstudier av processkemikalier, katalysatorer och restprodukter bör göras liksom påverkan på kringliggande natur och vatten. En fråga som identifierades under förstudien, och som bör undersökas närmare, är utformningen och placeringen av koldioxidlagret. Där skulle till exempel närheten till bebyggelse och höjdskillnaderna mellan Västermalmsverket och sådan bebyggelse särskilt behöva beaktas.

## AP3 Kommunikation

Falun vill bli en fossilfri kommun där det är lätt att leva energiintelligent med liten klimatpåverkan. Senast år 2035 skall hela kommunen vara fossilbränslefri. Det slogs fast i Energi- och klimatprogrammet för Falu kommun som antogs 2012<sup>58</sup>. Målet är ett klimatneutralt Dalarna år 2045.

Falu Energi & Vatten är ett företag i framkant och en förebild i branschen med målet att vara fossilfria år 2025. Med stort engagemang och med hållbarhet och människors bästa i fokus utvecklar Falu Energi & Vatten samhället. För att det ska vara möjligt behöver företaget fortsätta att utvecklas, använda effektiv, ny teknik och samarbeta med andra. Denna förstudie är ett av många utvecklingsprojekt som ingår i detta utvecklingsarbete.

Syftet med arbetspaket 3 (AP3) är enligt projektplanen<sup>59</sup> att ansvara för en intressentdialog gällande BioCCS på Västermalmsverket. Möjliga intressenter identifieras, utbildas och får tycka till om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme.

Arbetspaketet ansvarar även för kommunikationsmaterial och en plan för kompetensutveckling för anställda på Falu Energi & Vatten.

Prioriterade intressenter involveras minst en gång under projektetiden och projektet samarbetar med programmet ”Ett smartare Falun” i den mån det är möjligt.

### Genomförande

Klimpo tillsammans med Falu Energi & Vatten utgör projektgruppen för AP3. I denna förstudie har ett antal intressenter identifierats och prioriterats, se Bilaga 2.1, Intressentanalys. Intressentdialoger och aktiviteter med identifierade och prioriterade intressenter redovisas i Bilaga 2.5, Dialograpport.

För att uppnå projektmålen har projektgruppen genomfört utbildningsinsatser, dialog med kunder och branschkollegor samt spridit projektinformation både i fysisk och digital form. Beroende på syfte och målgrupp har olika kommunikationsmetoder tillämpats. Projektgruppen har delgett information till både interna och externa intressenter genom personliga möten, intervjuer, nätverksträffar, konferenser, studiebesök samt via webbplatser och sociala medieplattformar.

### Samordning av projektets kommunikationsbehov

Genom kommunikation och möten har projektgruppen säkerställt att projektgruppen har tillgång till aktuell information och är motiverad och trygg i att kommunicera projektets syfte och mål. Utbildningar, nätverksträffar och

---

<sup>58</sup> <https://www.falun.se/bygga-bo--miljo/energi-och-uppvarmning.html>

<sup>59</sup> Energimyndighetens beslut avseende programprojektet ”Bio-CCS i det smarta energisystemet i Falun”, daterat 2022-07-26

studiebesök till en pilotanläggning för koldioxidinfångning har genomförts för att stödja detta.

Projektgruppen har förvärvat djupgående och relevant kunskap som är värdefull för både förstudien och kommande projektfaser. Vidare har presentationsmaterial, illustrationer, texter och "Frågor och svar" (Q&A) producerats för användning av både projektgruppen och Falu Energi & Vattens medarbetare vid behov.

Projektgruppen har även förberett ett underlag och fungerande koncept för fortsatta kunddialoger efter avslutad förstudie.

### **Dialograpport**

För ändamålsenlig och inkluderande kommunikation med prioriterade intressenter utvecklade projektgruppen initialt en Kommunikationsplan, Bilaga 2.2. Den projektspecifika kommunikationsplanen har fungerat som ett stöd för projektgruppens kommunikation och intressentdialoger.

Projektgruppen har kommunicerat tydligt och relevant för att visa vikten och fördelarna med förstudien samt förklarat innebörden av BioCCS, klimatpositiv fjärrvärme samt affärsmöjligheter för Falu Energi & Vattens kunder.

Ett BioCCS-projekt i Falun har potentialen att på ett betydande sätt minska industriutsläppen inom kommunen och fungera som en inspirationskälla för att driva klimatpositiva åtgärder, bland till fastighetsägare och storföretag. Initiativ såsom klimatpositiv fjärrvärme och lokala, klimatpositiva projekt är av central betydelse för att uppnå Sveriges mål om att bli klimatpositiva till år 2045.

Under projektets gång har projektgruppen fokuserat på att informera och bygga upp acceptans för initiativet med förhoppningen att detta arbete skapar ett intresse för att fortsätta att utveckla dessa åtgärder tillsammans med Falu Energi & Vatten.

De ökade insikter och kunskaper som förväntas genereras genom detta projekt kommer att stärka engagemanget hos projektets intressenter och öka deras konkurrenskraft i arbetet för en mer hållbar framtid.

### **Stärkt varumärket Falu Energi & Vatten**

Denna förstudie utgör en central komponent i Faluns och Dalarnas satsning på att främja klimatarbetet och att utforska innovativa energilösningar som kan accelerera klimatåtgärder i regionen.

Resultaten från förstudien understryker Falu Energi & Vattens engagemang i att vara en del av Sveriges strävan att bli klimatpositiva till år 2045. Genom sitt arbete med förstudien blir företaget en integrerad del av lösningen för att möta de utmaningar som klimatfrågan innebär. Detta stärker deras position som en pålitlig partner i arbetet mot en hållbar och klimatvänlig framtid.

### **Ökad förståelse och kunskap om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme**

Förstudien har bidragit till inledande samtal om arbetet framåt, möjligheter och vikten av klimatpositiva initiativ i kommunen, Dalarna och Sverige för att nå målet om ett klimatpositivt Sverige 2045.

Utbildning av projektgruppen har varit centralt med betoning på att säkerställa kompetens och identifiera vad som kommer att krävas i kommande faser.

Ett studiebesök genomfördes till Skutskär för att titta på projekt-ACCSESS<sup>60</sup> pilotanläggning för koldioxidinfångning. I besöket deltog, utöver projektgruppen, flera medarbetare samt vd på Falu Energi & Vatten. Även andra energibolag och aktörer i regionen som utreder BioCCS deltog i besöket. Genom studiebesöket initierades en första dialog med flera prioriterade intressenter och det skapade en möjlighet att visa och diskutera det som händer inom BioCCS redan idag och den snabba utvecklingen av området. Studiebesöket var också ett uppskattat och viktigt tillfälle för erfarenhetsutbyte och samtal om möjliga framtida partnerskap, samarbeten och logistikhubbslösningar.

Genom aktiv dialog med kunder och diskussioner om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme, samt genom möten och deltagande i ”Prisdialogen”, har andra företag fått inspiration och information om vikten av att driva klimatpositiva initiativ och fjärrvärmens avgörande roll. Genomförda kunddialoger har resulterat i kvalificerade frågor och en nyfikenhet kring projektet och förstudiens resultat, vilket har stärkt förtroendet för projektkommunikationen och lagt en bra grund för fortsatt dialog med engagerade aktörer i regionen enligt projektgruppens utarbetade koncept. Alla deltagare i de genomförda kunddialogerna uttryckte sin önskan att delta i presentationen av resultatet från förstudien och att fortsätta samtalen.

Dessa samlade insatser har resulterat i en ökad medvetenhet och kunskap om ämnen som BioCCS, negativa utsläpp och klimatpositiv fjärrvärme.

### **Kunddialog, analys av intresse för klimatpositiv fjärrvärme**

De kunddialoger som har genomförts om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme syftar till att öka förståelsen för BioCCS och minusutsläpp. Dessutom avser de ge en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme bland ett urval av Falu Energi & Vattens fjärrvärmekunder, företags- och industrikunder.

Falu Energi & Vattens privata fjärrvärmekunder har ej identifierats som prioriterade intressenter i denna förstudie.

#### *Tillvägagångssätt och respondenter*

En initial kunddialog är genomförd med två av Falu Energi & Vattens prioriterade större kunder.

Urvalet baserades främst på tidigare dialoger inom ramen för Prisdialogen, där det tydligt framgick att dessa kunder hade uttryckt ambitioner att aktivt bidra till den

---

<sup>60</sup> <https://www.projectaccess.eu/>

gröna omställningen. Dessa kunder har etablerade och långvariga relationer med Falu Energi & Vatten.

### **Tillvägagångssätt, kunddialog**

Metoden för att öka förståelsen för BioCCS och få en indikation på intresset för klimatpositiv fjärrvärme samt diskutera kundbehov och möjligheter skedde genom digitala intervjuer och dialog med kunden.

I mötena deltog kund, kontaktperson på Falu Energi & Vatten samt projektledare och VD för Klimpo.

Intervjuerna genomfördes via Teams under oktober och november 2023 med följande huvudområden:

Kort om Klimpo och samarbetet med Falu Energi & Vatten i förstudien *”BioCCS i det smarta energisystemet i Falun”*.

Information/utbildning om BioCCS. Lösningens teknik, klimatnytta, finansiering samt förstudien.

Information/utbildning om klimatpositiv fjärrvärme och dess betydelse för kundens verksamhet och konkurrenskraft. Möjligt erbjudande.

Intervju med kund enligt nedan, Frågor. Kundens intresse, behov och tankar kring klimatpositiv fjärrvärme.

Sammanfattning och väg framåt.

### **Frågor**

1. Känner du till att Falu Energi & Vatten utreder möjligheten att fånga koldioxid för att städa atmosfären från koldioxid?
2. Vad tycker du om det?
3. Skulle ditt företag vara intresserat av att köpa minusutsläpp (krediter) att nyttja till produkter och tjänster och därmed kunna erbjuda klimatpositiv fjärrvärme, ett klimatpositivt boende eller tjänster?
4. Dina tankar kring detta?
5. Kundintresse och villkor för köp
6. Hur avgörande tror du att det kommer bli i framtiden att företag går före och erbjuder den här typen av produkter och tjänster?
7. Varför är det viktigt att vi utreder den här typen av satsningar/teknik?
8. Vad skulle vi kunna göra mer för att sprida information och kunskap om BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme?
9. Hur kan vi (Falu Energi & Vatten) tillsammans hålla frågan levande?
10. Sammanfattning och väg framåt

## 11. Kommentarer

Kunden hade under mötet möjlighet att ställa frågor och delta i diskussion. Huvudfokus låg på att informera och berätta om pågående utveckling inom BioCCS i Sverige, marknadens framsteg för kolkrediter samt de möjligheter som energibolag som Falu Energi och Vatten och deras kunder kan dra nytta av.

### *Resultat, sammanfattning av Kunddialoger*

Resultatet av dialogerna är sammanfattade och redovisas i sin helhet i Bilaga 2.6, Kunddialoger. Nedan följer en kortare sammanfattning.

De kunder med vilka dialog genomfördes känner till Falu Energi & Vattens förstudie om BioCCS och är försiktigt positiva, visar intresse och uttrycker sitt stöd för projektet.

Dessa kunder har ambitiösa klimatmål och tydliga krav på utsläppsminskningar och vill fortsätta att utforska möjligheter inom området.

Det finns dock en osäkerhet kring priser och ekonomiska aspekter för den här typen av projekt och det finns en viss oro att en satsning på BioCCS blir ett kostnadspåslag på fjärrvärmen.

I diskussionen betonas att huvudsyftet inte är att påföra kunderna extra kostnader. I stället kan det vara en valmöjlighet för de kunder som aktivt vill stödja klimatpositiva initiativ och investeringar. Detta representerar en flexibel och kundorienterad strategi för att minska koldioxidutsläppen inom fjärrvärmebranschen. Denna strategi uppfattas som intressant och positiv av samtalsdeltagarna. Hur strategin kan komma att se ut är dock för tidigt att säga. En efterfrågan finns att utveckla diskussionen om möjligheter efter avslutad förstudie.

En möjlighet som uppfattades som positiv är att kunder får möjlighet att köpa en mindre andel minusutsläpp för att visa sitt engagemang och stödja utvecklingen av klimatpositiva produkter och tjänster, även om de kunder som har begränsade finansiella möjligheter.

Konceptet kan likställas det som inom elhandel erbjuder köp av sol, vind och vatten i olika procentsatser, vilket görs redan idag. Det som krävs är politiska beslut. Ett intresse finns att ta upp frågan i miljørådet.

Vissa kunder ser däremot snarare att det kan finnas ett intresse att köpa minusutsläpp i samband med till exempel nyproduktion eller stora underhållsprojekt än att köpa ”grön fjärrvärme”. Framför allt med tanke på att dagens fjärrvärme från Falu Energi & Vatten redan är klimatsmart.

I samtalen bedöms att det bör finnas en marknad för kolkrediter i Falun och att kunddialoger som detta är viktiga för att fortsätta utreda om hur marknaden ser ut lokalt och i Dalarna. De ser i första hand framför sig att Falu Energi & Vatten erbjuder negativa koldioxidutsläpp (kolkrediter) till den generella marknaden i Falun och Dalarna.

Det finns flertalet industrier i Dalarna och många av dem kan vara intresserade av kolkrediter. Företag ser detta som ett sätt att uppnå sina klimatmål och känna samhörighet inom kommunen och regionen.

Marknaden är dock inte nödvändigtvis endast Falu Energi & Vattens direkta kunder, utan även internationella aktörer kan vara intressanta, i det fall det utvecklas en internationell handelsmarknad för kolkrediter. Detta uppfattades som en intressant och viktig aspekt att ta med sig framåt.

En möjlighet är att en del kolkrediter kan allokeras till regionen och kommunen och resten handlas på världsmarknaden. Lokala överväganden är av stor vikt och olika möjligheter och prioriteringar bör utvärderas vidare.

Kunderna betonar även vikten av samarbeten och behovet av att gemensamt driva den nya industrin framåt, särskilt med tanke på de ekonomiska och politiska utmaningar som råder för närvarande.

Det största hindret som framkom under diskussionen bedöms vara svårigheten att övertyga intressenter om att detta är en fördelaktig och genomförbar investering, särskilt med tanke på den osäkra ekonomiska och politiska situationen i dagens samhälle.

## **Diskussion**

I en snabbväxande teknologisk utveckling, där BioCCS-tekniken kontinuerligt förfinas, är det av yttersta vikt att så många som möjligt inom organisationen har en djup förståelse för tekniken, affärsmodellen, handelsaspekter med mera. Detta är nödvändigt för att säkerställa att organisationen har tillräcklig kompetens att fatta välgrundade beslut och hantera de utmaningar och möjligheter som kan uppstå i framtiden. Stort fokus har därmed varit på utbildning av projektgruppen på Falu Energi & Vatten och genom förstudien har kunskapsnivån höjts avsevärt.

Projektgruppen har under förstudien initierat inledande kunddialoger, utbildat och informerat prioriterade intressenter om värdet av BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme. Utfallet av dessa insatser har väckt intresse och genererat en önskan om ytterligare kunskapsinhämtning och diskussion. Det finns nu en strävan att undersöka potentiella samverkansmöjligheter på både lokal och regional nivå samt att vidareutveckla insatser för att främja klimatpositivt arbete.

I samtliga kunddialoger framkom önskemål om att bli inbjudna till en presentation av förstudiens resultat, nuläge och nästa steg för BioCCS på Falu Energi & Vatten. Därutöver uttrycktes önskemål om att projektgruppen möjliggör spridning av denna kunskap. Denna presentation och spridning av kunskap kommer att genomföras efter avslutad förstudie.

Projektgruppens bedömning är att kunderna över lag är positiva till initiativet och att genomförda dialoger visar på en hög klimatmedvetenhet bland kunderna som värderar klimatfrågan högt. Kunddialogerna fick positiv respons, och projektgruppen anser att det har varit en framgångsrik och viktig kanal för att öka

förståelsen för BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme. Ett fungerande koncept har nu tagits fram för fortsatta kunddialoger.

Medarbetare från olika delar av Falu Energi & Vatten har genom projektarbetet utvecklats och utbildats. De är nu rustade för att fortsätta arbetet för att Dalarna ska uppnå målet att bli klimatneutralt år 2045. BioCCS, klimatpositiv fjärrvärme och lokala klimatpositiva initiativ spelar en avgörande roll för att uppnå ett klimatpositivt Sverige år 2045, och det lokala klimatarbetet har en viktig funktion.

Projektgruppen anser att Falu Energi & Vattens BioCCS-projekt har stärkt företagets gröna profilering genom att tydligt visa på ett aktivt klimatarbete och viljan att utvecklas och omfamna ny teknik. Inom regionen genomförs liknande förstudier, vilket har öppnat upp för möjliga framtida samarbeten och ett gemensamt arbete framåt. Inledande diskussioner har genomförts med branschkollegor och hamnar i närområdet som också utreder BioCCS under ett gemensamt studiebesök till Skutskär för att titta på projekt-ACCSESS pilotanläggning för koldioxidinfångning.

Förhoppningen är att detta i förlängningen kan möjliggöra nya samarbeten för vidare utveckling samt framtagandet av nya affärsmodeller och strategier.

### **Rekommendation**

Den interna kommunikationen på Falu Energi & Vatten bör fortsätta för att utbilda och skapa acceptans bland medarbetare. Intranätet ”Källan”, interna möten och nätverksträffar är viktiga kanaler för att främja dialog och få svar på frågor.

Det är viktigt att öka kunskapen internt, men även att sprida kunskap om BioCCS och vilka möjligheter det ger, men också kring de utmaningar som finns. Falu Energi & Vatten har ett ansvar gentemot sina kunder att arbeta långsiktigt med utsläppsminskningar och här ingår att utreda möjligheter inom koldioxidinfångning.

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

Fortsätt kommunicera pedagogiskt om BioCCS och hur det kan rena atmosfären från historiska utsläpp. BioCCS är en nödvändig kompletterande åtgärd för att nå Sveriges mål om noll nettoutsläpp av växthusgaser till 2045, och detta bör framhållas centralt.

Projektgruppen rekommenderar att Falu Energi & Vatten fortsätter sitt arbete med kunddialoger för att utbilda och stärka kommunikationen med fjärrvärmekunder samt undersöka betalningsviljan hos sina kunder och diskutera affärsmöjligheter. Prioriterat är företagskunder som fastighetsbolag, bostadsrättsföreningar och andra industrikunder då de bedöms ge störst klimateffekt.

Under förstudien har dialog främst genomförts med företag engagerade i ”Prisdialogen”, men det framhölls i diskussionen att det finns fler aktörer att involvera. Särskilt industrier i Falun, även om de är i mindre skala, bör kontaktas



då de kan vara potentiella framtida kunder för en satsning inom området. Större industriföretag kan ha större resurser och möjligheter att vara betydande aktörer när det kommer till att handla upp minusutsläpp och klimatpositiv fjärrvärme, vilket bör utredas vidare.

#### *Det lokala perspektivet*

Dalarna och Falun tar stora steg i klimatarbetet, och fortsatt kommunikation kan med fördel rikta in sig på det lokala perspektivet. Falu Energi & Vatten har möjlighet att stödja potentiella partners i regionen genom att dela kunskap och stärka deras kommunikation för att stödja deras klimatresa. Det är även viktigt att involvera och informera lokala politiker.

Dalarna är känt och respekterat för sitt miljöarbete och förmåga att omvandla energi- och klimatutmaningar till utveckling och tillväxt. Projektresultaten bör integreras i den fossilfria färdplanen för Dalarnas Energisystem.

Fortsätt att kommunicera och informera inom det koncerngemensamma utvecklingsprogrammet "Ett smartare Falun", där BioCCS är en central del för att nå programmets mål.

Samarbetet mellan Falu Energi och Vatten och Borlänge Energi har varit framgångsrikt genom åren, och detta samarbete kan fortsätta att ge båda bolagen fördelar genom delning av erfarenheter, kompetens och resurser.

Borlänge Energi deltar också i Viable Cities satsning "Klimatneutrala städer 2030". Inom projektet "Klimatneutrala Borlänge 2030" samordnas arbetet av kommunen, med stöd från olika aktörer som Borlänge Energi, Högskolan Dalarna, Dalarna Science Park och 2047 Science Center.

Projektgruppen rekommenderar samordning och organisering med initiativ som detta och andra utvecklingsprojekt som pågår, inom den kommunala verksamheten såväl som utanför, som en förutsättning för en bra fortsättning.

## **AP4 Transport och logistik**

I detta arbetspaket har projektgruppen arbetat med att utreda olika praktiskt möjliga och kostnadseffektiva alternativ för mellanlagring, transport och permanent lagring.

Under projektets gång har projektgruppen varit i kontakt med exempelvis tjänsteleverantörer inom transportsektorn, hamnar, lagringsaktörer och representanter för olika kluster-projekt. Detta i syfte att skapa en överblicksbild av potentiella alternativ inom lagring och transport samt en trolig kostnadsuppskattning för respektive steg i logistikkedjan.

Utvecklingen inom transport och logistik för koldioxid går mycket fort och det är därför viktigt att kontinuerligt följa med i utvecklingen kring de senaste projekten och nyheterna.

## Logistikkedjan

Logistikkedjan för att transportera koldioxid från avskiljningsplatsen till permanent lagring kan förenklat beskrivas enligt Figur 21.



**Figur 21** Förenklad logistikkedja för koldioxidtransporter

Logistikkedjan innefattar *mellanlagring på anläggningen, transport på land, mellanlagring i hamn, fartygstransport* samt *lagring av koldioxid*.

## Mellanlager

Efter avskiljning och förvätskning av koldioxid behöver gasen mellanlagras innan transport. Mellanlagringens placering och dess konstruktion är avgörande för att minimera förluster och säkerställa effektiv hantering av gasen. Nedan beskrivs några av de viktiga aspekterna för mellanlagring av koldioxid samt olika lagringslösningar.

Avdunstning är en betydande faktor under mellanlagring av koldioxid, vilket kräver återföring av den avdunstade gasen till förvätskningsanläggningen. Nära placering av mellanlagret till avskiljningsanläggningen är fördelaktig för att minimera dessa avdunstningsförluster. För mellanlagring på platser längre bort från avskiljningsanläggningen krävs separata förvätskningsanläggningar, vilket kan öka komplexiteten och kostnaderna för hanteringen av koldioxid.

Mellanlagrets storlek är direkt relaterad till mängden avskild koldioxid och den valda transportmetoden. Dimensioneringen av mellanlagret bör grundas på maximal avskiljningskapacitet för att säkerställa att lagringskapaciteten är tillräcklig under alla förhållanden, året runt. Dessutom krävs en riskanalys för att hantera eventuella störningar i planerade transporter och för att säkerställa kapaciteten och säkerheten vid sådana händelser.

Flera alternativa varianter av tankar finns tillgängliga för mellanlagring av koldioxid. Sfäriska och cylindriska tankar erbjuder likvärdig funktion men varierar i utseende och kapacitet (se Figur 22). Vid lagring av koldioxidvolymmer över 100 m<sup>3</sup> är sfäriska tankar att föredra på grund av deras förmåga att enskilt hålla större volymer. Cylindriska tankar är däremot mer lämpade för mindre lager och kan placeras i både liggande och stående positioner.



**Figur 22 Exempel på sfäriska tankar för flytande koldioxid**

Mellanlagring är en kritisk fas i kedjan för hantering och transport av koldioxid. Placering, dimensionering och val av lagringslösningar har avgörande betydelse för att säkerställa effektiv hantering och minimera förluster av koldioxid under mellanlagringen. Valet av tankkonfiguration behöver anpassas efter de individuella behoven för att optimera lagringskapaciteten och säkerheten samt för att upprätthålla en kontinuerlig och pålitlig logistikkedja. En noggrann planering och analys är nödvändig för att möta de tekniska kraven och säkerställa smidiga transporter i koldioxidhanteringen.

### **Lastbil**

Vägtransporter av koldioxid med lastbil är en vanlig företeelse inom exempelvis dryckesindustrin idag. Dessa lastbilar har en kapacitet att transportera upp till 33 kubikmeter flytande koldioxid och är särskilt lämpliga för kortare sträckor, såsom mellan en avskiljningsanläggning och ett mellanlager där lastbilen kan pendla regelbundet. För närvarande drivs lastbilarna oftast av diesel, men en övergång till elektrifiering av lastbilsflottan pågår för att göra vägtransporter mer miljövänliga. I Figur 23 ses exempel på lastbil anpassad för transport av flytande koldioxid



**Figur 23 Exempel på lastbil anpassad för transport av flytande koldioxid**

Eftersom koldioxid klassificeras som farligt gods<sup>61</sup>, omfattas lastbilstransporter av specifika tunnelrestriktioner och vägarnas färdväg behöver planeras och anpassas för att uppfylla dessa säkerhetskrav.

Användning av vägtransporter för koldioxid innebär flera tekniska och säkerhetsmässiga överväganden. Den rådande övergången till att elektrifiera lastbilarna för att minska koldioxidutsläppen är ett steg mot en mer hållbar och miljövänlig transportlösning. Samtidigt krävs noggrann planering och efterlevnad av gällande säkerhetsbestämmelser för att säkerställa en säker och effektiv transport av koldioxid i större mängder.

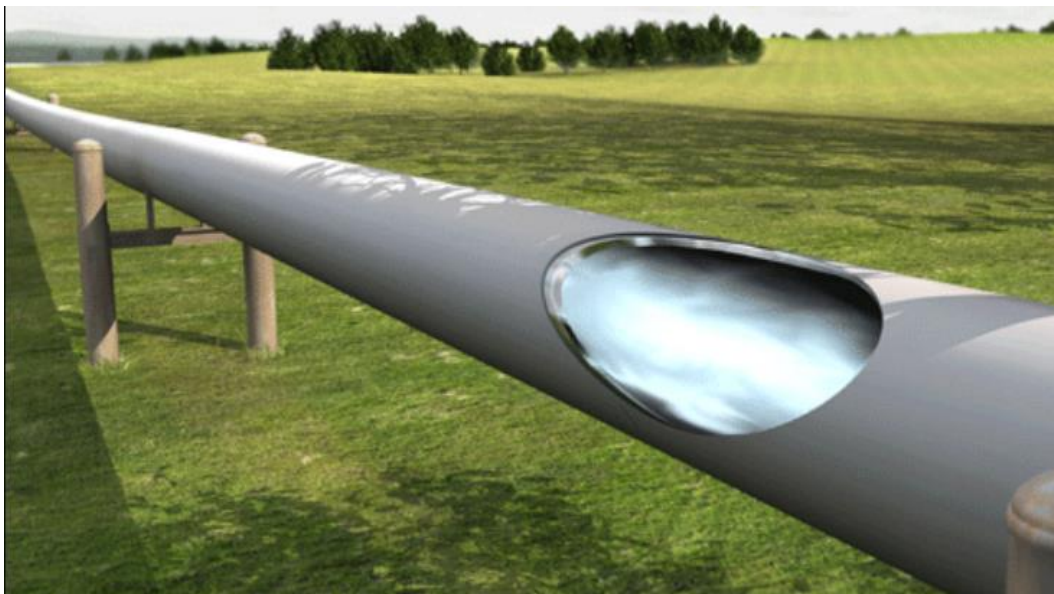
### **Rörledning**

Transport av koldioxid genom rörledningar representerar en etablerad metod som kan vara kostnadseffektiv vid betydande volymer, trots den högre initiala investeringskostnaden jämfört med andra transportalternativ såsom tåg och lastbil.

Koldioxidtransport i rörledningar kan utföras i olika faser - flytande, gasformig eller i superkritisk fas. För att säkerställa en stabil och säker drift är det avgörande att förhindra fasförändringar inom rörledningarna, vilket annars kan leda till tryckstötter och korrosion, vilket i sin tur kan påverka driftens stabilitet och säkerhet. I Figur 24 ses designen för en rörledning anpassad för koldioxid.

---

<sup>61</sup> MSBFS 2022:3 om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S 2023).



**Figur 24 Designbild av rörledning för koldioxid**

Transport i flytande fas är vanligtvis lämplig för kortare sträckor, vanligtvis mindre än 1 kilometer. Detta beror på de omfattande åtgärder som krävs för att förhindra fasförändringar inom rörledningarna, inklusive isoleringskrav och krav på tryckfall. Gasformig transport är passande för medellånga avstånd, vanligtvis mellan 5 till 15 kilometer, medan superkritisk transport vanligtvis används för längre sträckor, överstigande 50 kilometer.

En betydande utmaning inom rörledningstransporter ligger i tillståndsgivningen, särskilt relaterat till ruttplanering, äganderättigheter och gränsöverskridande aspekter mellan olika markägare och kommungränser. Det är också viktigt att notera att rörledningar som sträcker sig över 20 kilometer vanligtvis kräver särskilda koncessioner för drift.

Transport av koldioxid via rörledningar involverar tekniska, logistiska och regleringsmässiga överväganden som måste hanteras noggrant för att säkerställa en effektiv och säker gasleverans samt för att möta de nödvändiga juridiska och tekniska kraven för drift.

## **Tåg**

På grund av den snabba utvecklingen av CCS och den förväntade ökade efterfrågan på koldioxidtransporter arbetar järnvägsoperatörer aktivt med planering och utveckling. I Sverige utgör ett väl utbyggt järnvägsnät en grund för miljövänlig och effektiv transport av koldioxid.

De järnvägsvagnar som används för koldioxidtransport är konstruerade för att hantera tryck upp till cirka 14 bar och temperaturer omkring  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>62</sup>. Dessa specifikationer är av betydelse då de varierar mellan lagrings- och sjötransportaktörer. Den vanligaste volymen per vagn uppgår till  $63\text{ m}^3$ , men

---

<sup>62</sup> Diskussioner med Green Cargo

större och mindre vagnar finns tillgängliga för särskilda behov. I Figur 25 ses exempel på järnvägsvagnar anpassade för transport av flytande koldioxid.



**Figur 25 Järnvägsvagnar anpassade för flytande koldioxid**

Inom Europa finns idag flera tillverkare av vagnar specifikt avsedda för koldioxidtransport. Eftersom leveranstiderna kan sträcka sig över flera år och förväntningen är att efterfrågan på vagnar kommer att vara hög, krävs tidig beställning av dessa vagnar. Järnvägsoperatörer strävar därför efter att redan nu teckna intentionsavtal med utsläppare.

Transporten kan ske med vagnar antingen ägda av tågoperatören eller av utsläpparen själv. I det senare fallet minskar kostnaden per vagnslast, men medför investerings- och underhållskostnader för vagnarna.

Tågtransporter i Sverige betraktas som ett miljövänligt alternativ tack vare den omfattande elektrifieringen av det svenska järnvägsnätet. Transporter kan utföras snabbt och kostnadseffektivt över hela landet och till samtliga större hamnar. Emellertid befinner sig de primära järnvägssträckorna redan under betydande belastning och nära sin maximala kapacitet. För att hantera den potentiellt ökade tågtrafiken som BioCCS kan ge är det viktigt att Trafikverket omedelbart utreder behovet av att utvidga det primära järnvägsnätet.

### **Hamnar och kluster**

Runtom i Sverige och Europa undersöker nu flertalet hamnar sina möjligheter att etablera sig som hubbar för transport av koldioxid. Klimpo har ringt runt till de större hamnoperatörerna i Sverige för att kartlägga deras aktuella kännedom om och arbete inom koldioxidtransporter. Rundringningen visar på att kännedomen är god och att bland annat Umeå Hamn, Gävle Hamn, Stockholm Norviks Hamn,

Göteborgs Hamn samt Luleå Hamn utreder möjligheter för koldioxidtransporter till och från hamnen.

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

En betydelsefull faktor att ta hänsyn till är djupgåendet hos fartygen som ska användas för koldioxidtransport. Större fartyg med en lagringskapacitet på över cirka 20 000 m<sup>3</sup> kräver ett betydande djup i hamnen för att möjliggöra effektiv in- och utlastning. Djupet i hamnen är kritiskt för att säkerställa smidig och säker navigering för dessa större fartyg.

**Tabell 15 Kartläggning av tillgängligt hamndjup i svenska hamnar**

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

Baserat på kartläggningen av olika hamnar visar majoriteten av de undersökta hamnarna att de redan har eller planerar att genomföra arbete för att öka sina djup. För fartyg med en kapacitet på över 20 000 m<sup>3</sup> krävs ett minimidjup på 10 m. De största planerade fartygen kräver ett djup på upp emot 13 m, vilket för närvarande endast finns tillgängligt i Göteborg, Gävle, Luleå och Stockholm Norvik hamnar (se Tabell 15).

Flera av de kartlagda hamnarna har antingen redan uppfyllt kraven eller planerar att uppdatera sina djup för att hantera större fartyg. Emellertid är det värt att notera att det finns andra hamnar vars djup ännu inte möter de krav som de allra största planerade fartygen ställer. Detta visar på vikten av att kontinuerligt utvärdera och uppdatera hamnarnas infrastruktur för att möta behoven för framtida koldioxidtransporter.

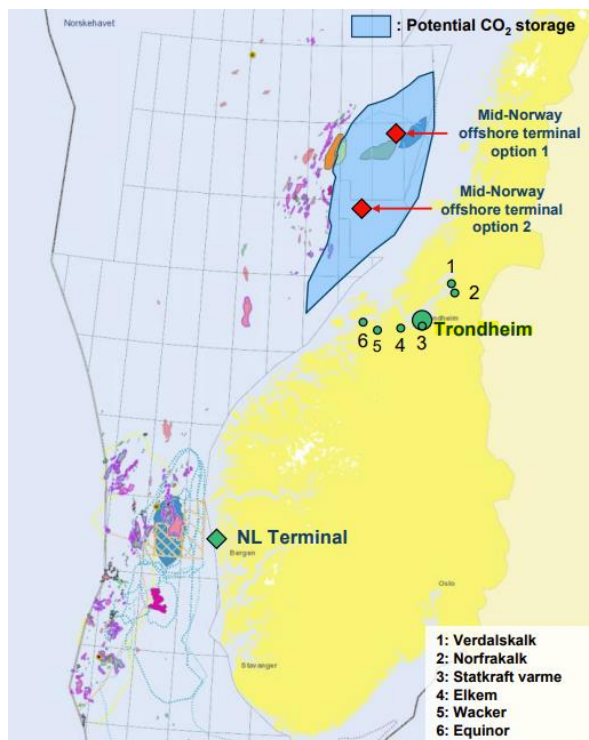
Nedan presenteras ett urval hamnar och kluster som bedöms ha goda geografiska förutsättningar att kunna fungera som utskeppningshamnar för Falu Energi & Vatten.

#### *The CCS Mid Norway Cluster*

The CCS Mid Norway Cluster är ett samarbetsprojekt mellan Equinor, Franzefoss Minerals, Statkraft Varme, Elkem och Wacker Holla Metall<sup>63</sup>. Samtliga

<sup>63</sup> Kristin J., Öyvind L., Donghoi K., Francesco F., Simon R., Nicola M., Mari V.,(2023)Report-The CCS Midt-norge cluster.

inblandade parter har planer på att bygga koldioxidavskiljning vid deras respektive anläggningar i närområdet kring Trondheim. Då närmast belägna terminal för utskeppning av koldioxid är belägen på betydande avstånd i Bergen har parterna undersökt möjligheterna till en gemensam terminal i mellersta Norge för att minimera sina transportkostnader.



**Figur 26** Översiktsbild av The CCS Mid Norway Cluster

Den studie som genomfördes under perioden Mars 2021 till Februari 2023 föreslår en gemensam fartygsterminal med tillhörande mellanlager i Orkanger hamn alternativt en flytande terminal någonstans längs kusten i mellersta Norge. The CCS Mid Norway Cluster har i denna förstudie enbart använts som ett exempel på möjlig lagring och utskeppning i mellersta Norge. Kostnadsuppskattningar och potential till mellanlagring är därför högst osäkra.

#### *Gävle Hamn*

Gävle Hamn har tillsammans med närliggande Gävle Energi genomfört en studie<sup>64</sup> där det konstaterats att det finns en potential om ca 5 miljoner ton CO<sub>2</sub> inom en radie på 10 mil som skulle kunna skeppas ut från Gävle Hamn.

<sup>64</sup> <https://gavlehamn.se/mangmiljonstod-beviljat-gavle-energi-och-gavle-hamn-till-projekt-for-koldioxidlagring/>





**Figur 27** Översiktsbild av Gävle Hamn med en fiktiv koldioxidhamn i förgrunden

Med tillgång på lämpliga ytor, bra infrastruktur för såväl järnväg, sjöfart som lastbilstransport samt substantiella volymer koldioxid i närområdet bedöms därför förutsättningarna goda. Trots att inga beslut ännu fattats, beräknas en terminal för CO<sub>2</sub> kunna vara i drift till år 2030.

## Fartyg

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

Introduktionen av rena koldioxidtransporter till havs är en nyligen uppkommen nisch. Vid juni 2022 var 14 fartyg globalt beställda och under konstruktion<sup>65</sup>. Dessa fartyg är visserligen kostsamma men förväntas ha en livslängd på minst 25 år. Leveranstiden för ett nytt fartyg från beställning beräknas till 3–4 år.

Olika lagringsaktörer har sett behovet av att äga och driva fartyg i egen regi. Här planerar lagringsaktörerna att erbjuda fartygstransporter som ett paketerbjudande tillsammans med slutlagringen. Ett exempel är Northern Lights, som beställde två fartyg med en kapacitet på 7500 m<sup>3</sup> vardera i oktober år 2021. Dessa fartyg förväntas levereras under kvartal 2 2024 och kommer att drivas av LNG, kompletterat med vindkraft för att minska bränsleanvändningen. Northern Lights har också utvecklat designen för större fartyg med en kapacitet på 12 000 m<sup>3</sup>, med specifikationer för tryck och temperatur enligt standarden inom livsmedelsindustrin.

Horisont Energi har konstruerat ett kombinationsfartyg för transport av både flytande koldioxid och ammoniak, med en kapacitet på 18 000 m<sup>3</sup> och Carbfix samarbetar med DanUnity CO<sub>2</sub> för att designa fartyg med olika kapaciteter

<sup>65</sup> Enligt diskussion med Martin Rödén, Captimise

anpassade för koldioxidtransport, med specifikationer för tryck och temperatur enligt industristandarder.

Altera Infrastructure (Stella Maris) siktar på att bygga större fartyg med kapacitet upp till 50 000 m<sup>3</sup> samt utvecklar flytande terminaler för koldioxidhantering, vilka kan placeras i hamnar och flyttas vid behov och Storegga samarbetar med olika företag för att designa fartyg för koldioxidtransport.

Utöver lagringsaktörerna så föreligger även ett stort intresse för koldioxidtransporter hos renodlade rederier. Detta möjliggör för utsläppare att teckna avtal direkt med rederierna, antingen genom Contract of Affreightment (CoA) eller Time Charter (TC).

Vid CoA avtalar parterna om ett strikt schema med månadsvisa transporter och volymer där skeppsägaren ansvarar för försäkringar, fartyget och dess besättning men även för alla kringkostnader i form av exempelvis hamnavgifter och bränsle. Utsläpparen betalar då en förbestämd fast kostnad per exempelvis ton CO<sub>2</sub>.

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 kan styra över tidtabeller men ställer större krav på intern organisation. Alternativet kan vara fördelaktigt när avskiljningen av koldioxid påverkas stort av exempelvis säsongsskillnader.

### Lagringsplatser

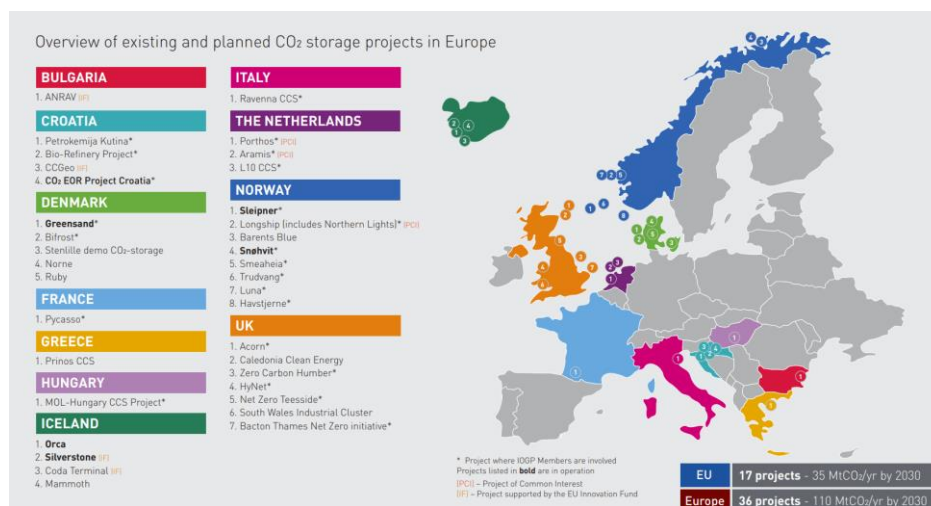
Utvecklingen av lagringsplatser för koldioxid går snabbt framåt och det är viktigt att hålla sig uppdaterad om det aktuella läget. Nedan presenteras en översikt över de potentiella lagringsområdena för koldioxid i Norden, särskilt i Nordsjön och dess omgivning, samt ger en internationell jämförelse med identifierade områden i Nordamerika och Central- och Östeuropa.

De vanligaste typerna av lagringsplatser är salina akvifärer, lagring i basalta bergformationer, nedlagda oljefält och nedlagda gasfält. Samtliga typer 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. Åldern på basalten har dock stor betydelse för lämpligheten för koldioxidlagring. Yngre basalt, som exempelvis på Island, lämpar sig bättre för koldioxidlagring än äldre, som exempelvis i norra Sverige, på grund av den är mer porös.
- Vid olje- och gasfält är kunskapen och kännedomen om de geologiska förutsättningarna god vilket borgar för en hög säkerhet.

### Lagringspotential i Norden

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



**Figur 28** Karta över aktiva samt planerade lagringsplatser i Europa. Källa: [www.ioepeurope.org](http://www.ioepeurope.org)

Utöver lagringsmöjligheterna i Nordsjön har bland annat Danmark<sup>66</sup> identifierat förutsättningar för lagring på land, medan Sverige genom Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) utforskar potentialen för permanent lagring i Östersjön. Privata aktörer har också visat intresse för lagring i svenskt vatten och genomför sina egna utredningar. Förutom dessa områden har tidigare undersökningar antytt att havsbotten utanför de baltiska staterna kan vara lämpliga för permanent lagring, även om djupgående utredningar ännu inte har genomförts.

### Internationella Lagringsområden

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

### Exempel på lagringsaktörer

Utvecklingen inom CCS drivs både politiskt och genom företag. Antal lagringsaktörer ökar och nya partnerskap utvecklas.

<sup>66</sup> <https://www.nordeafunds.com/sv/innehaall/nordsjon-blir-europas-co2-lager>

### *Northern Lights*

Northern Lights ägs av Shell, Equinor samt TotalEnergies och bidrar med logistik och lagring som en del av den 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<sup>67</sup>.

Northern Lights beräknas vara i drift med sin första fas år 2025. Den första fasen har en lagringspotential på 1,5 miljoner ton CO<sub>2</sub> årligen och när Northern Lights är i full drift uppskattas den totala lagringspotentialen till 5 miljoner ton CO<sub>2</sub> 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.

### *Horisont Energi*

Horisont Energi satsar på både permanent lagring samt produktion av vätgas. De har i dagsläget en lagringsplats under uppbyggnad, Polaris, och har ansökt om licens från Norska staten för ett till, Errai. Polaris beräknas vara i drift år 2026 och förhoppningen är att Errai ska kunna vara i drift till år 2029. Horisont Energi beräknas ha en total lagringskapacitet på strax över 100 miljoner ton.

### *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 CO<sub>2</sub> år 2026 och potentiellt 8 miljoner ton år 2030.

### *CarbonCuts*

CarbonCuts är ett ungt danskt bolag som siktar in sig på 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<sup>68</sup>.

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

Vid slutförande av denna rapport har en tillståndsansökan för lagringslicenser öppnat i Danmark men inget resultat är ännu redovisats. Utöver CarbonCuts har 8 andra aktörer ansökt om licens. I denna rapport är CarbonCuts enbart angivet som ett exempel på lagring onshore i Danmark.

---

<sup>67</sup> <https://www.nordeafunds.com/sv/innehaall/nordsjon-blir-europas-co2-lager>

<sup>68</sup> <https://www.carboncuts.dk/en/home>

### *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<sup>69</sup>.

### *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.

### *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 och innebär att bygga den nödvändiga infrastrukturen åt 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 ligger på 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<sup>70</sup>.

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.

---

<sup>69</sup> <https://www.carbfix.com/>

<sup>70</sup> Direct Carbon Dioxide Capture & Storage Solutions <https://storegga.earth/>

### *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 CO<sub>2</sub> årligen<sup>71</sup>.

### **Kostnadsanalys permanent lagring**

Prissättningen för permanent lagring är fortfarande under utveckling. Lagringsplatserna befinner sig i faser där de ännu inte vet vad deras total kostnad kommer att bli. Det går att förvänta sig att prissättningen kommer bli tydligare för många aktörer under de kommande åren. Förstudien har genom egna efterforskningar kommit fram till att ett troligt prisintervall kommer ligga på mellan 100-200 SEK per ton även om exempelvis Zero Emissions Platform uppskattar prisintervallet på mellan 1-20 EUR per ton beroende på typ av lagringsplats samt om lagringen sker onshore eller offshore. I denna studie antas dock priset för lagring till 200 SEK per ton för att säkerställa en viss marginal.

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

### **Säkerhetsaspekter och risker**

Koldioxid är en färg- och luktlös gas. Den är inte brandfarlig och räknas heller inte som giftig. Däremot är den kvävande och dess risk är beroende av koncentrationen samt av 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/m<sup>3</sup> 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<sup>72</sup>.

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

---

<sup>71</sup> Altera Infrastructure -<https://alterainfra.com/>

<sup>72</sup> HAZARDS FROM HIGH PRESSURE CARBON DIOXIDE RELEASES DURING CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION PROCESSES, Stephen Connolly, Laurence Cusco

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, men för god säkerhet är det viktigt att installera sensorer och larmsystem som snabbt kan varna omgivningen vid ett läckage.

Vid ett mycket stort läckage kommer ca 50 % av den flytande koldioxiden omedelbart att förångas och resterande 50 % kommer att blåsa ut 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 sprids ut 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.

Exempel:

Flytande koldioxid från en behållare på 1 500 m<sup>3</sup> kommer att expandera till cirka 800 000 m<sup>3</sup> och täcka en yta på 500 000 m<sup>2</sup> ca 1,5 m över marken. Det resulterar i ett moln på 700 x 700 m storlek som rör sig med vindriktningen.



Figur 29 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 utredningar kring risker och säkerhet 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.

### Falu Energi & Vatten

I detta delprojekt har följande scenarier och avskiljningsvolymmer använts som underlag för beräkningar:

- Scenario 1: KVV1: 60 000 ton/år

- Scenario 2: KVV2: 80 000 ton/år
- Scenario 3: KVV1 samt KVV4: 140 000 ton/år

För varje scenario har 4 koncept för transport och lagring utvärderats. Respektive koncept är beskrivet nedan.

**Koncept 1:** Den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till Borlänge. Där lastas koldioxiden över till järnvägsvagnar och transporteras med järnväg till Gävle Hamn för vidare transport med fartyg till slutlagring i Nordsjön.

**Koncept 2:** Den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till Borlänge. Där lastas koldioxiden över till järnvägsvagnar och transporteras med järnväg till Trondheim (The CCS Mid Norway Cluster) för vidare transport med fartyg till slutlagring i Nordsjön.

**Koncept 3:** Den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till Gävle Hamn. Där lastas koldioxiden över till fartyg för vidare transport till slutlagring i Nordsjön.

**Koncept 4:** Den avskilda koldioxiden transporteras via lastbil till Borlänge för omlastning till järnvägsvagnar. Därifrån transporteras koldioxiden med tåg till Rødby i Danmark för permanent lagring på land.

I koncept 1-3 antas koldioxiden, för jämförelse, skeppas till Northern Lights i Nordsjön för permanent lagring. Avstånd och kostnader skiljer sig vid val av annan permanent lagringsplats.

### Mellanlager Västermalmsverket

Samtliga utvärderade scenarier är beroende av ett mellanlager på plats vid Västermalmsverket. I mellanlagret lagras den förvätskade koldioxiden till dess att den kan lastas över på lastbil. Storleken på mellanlagret skiljer sig beroende på vilket scenario som väljs. I Tabell 16 ses valt scenario, maximal daglig avskiljning, nödvändig volym på mellanlager, nödvändig area för placering av tankar samt beräknad investeringskostnad (CAPEX). Då volymerna överstiger 100 m<sup>3</sup> rekommenderas användning av sfäriska tankar för mellanlagring.

Tabell 16 Beskrivning av nödvändiga volymer och areor för mellanlagring lokalt

Scenario	Max. daglig avskiljning (ton CO <sup>2</sup> )	Nödvändig volym (m <sup>3</sup> )	Nödvändig area (m <sup>2</sup> )	Ber. investering (MSEK)
1	367	800	400	25
2	368	800	400	25
3	710	1600	800	40



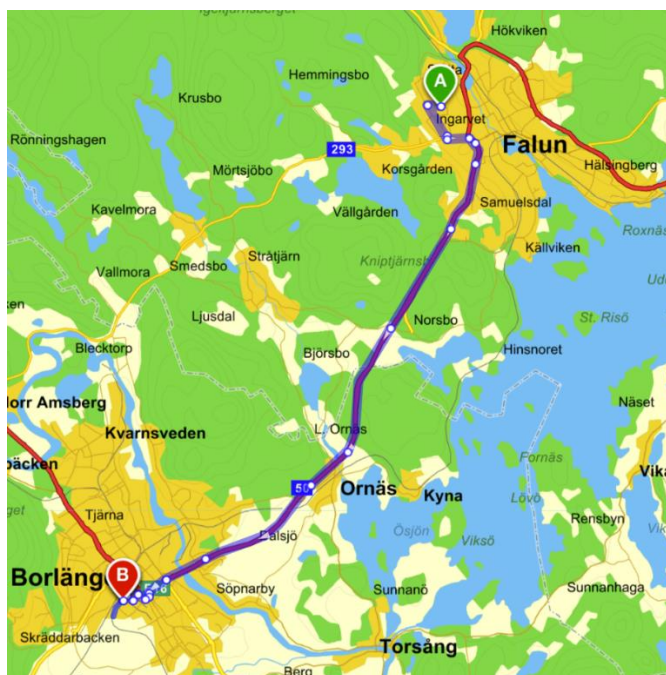
Den uppskattade nödvändiga volymen baseras på den dagliga avskiljningsgraden, att transporter från mellanlagret sker dagligen och med en viss säkerhetsmarginal.

### Logistikkoncept 1

I logistikkoncept 1 beräknas den flytande koldioxiden transporteras från mellanlagret vid Västermalmsverket till en tågterminal i Borlänge med lastbil. Tågterminalen ligger vid direkt anslutning till E16 med en körsträcka på ca 22 km från Västermalmsverket. Uppskattad körtid för en lastbil är ca 20 min. Lastning och lossning uppskattas till ca 1 h vardera.

Lastbilstransporter bedöms inte innebära någon investering utan kostnadsuppskattningen begränsar sig till driftskostnader (OPEX).

Kostnadsberäkningarna baseras på att 1-3 lastbilar kör totalt 3-8 rundturer per dag beroende på volymscenario. Den största kostnaden vid lastbilstransporter är chauffören samt bränslet. I Figur 30 ses färdväg från Västermalmsverket till Borlänge tågterminal.



Figur 30 Färdväg från Västermalmsverket till Borlänge tågterminal

I Borlänge mellanlagras koldioxiden igen fram till dess att ett fullt vagn-set kan fyllas. Lastning av ett vagn-set uppskattas kunna ske på ca 3 h. Därefter åker tåget den ca 11 mil långa sträckan till Gävle Hamn på ca 1 h och 45 min.

I Gävle Hamn lossas koldioxiden från vagnarna till ett större gemensamt mellanlager i väntan på nästa fartyg. Även lossningen uppskattas till ca 3 timmar och därefter kan vagn-setet återvända till Borlänge.

Avståndet med fartyg från Gävle Hamn till Northern Lights i Nordsjön är ca 2000 km och uppskattas ta ca 3,5 dygn med en medelhastighet på 13 knop.

Kostnadsberäkningarna baseras på att 3 lastbilar kör sammanlagt 3-8 rundturer per dag beroende på valt volymscenario samt att ett fullt tågset avgår från Borlänge var annan dag.

**Tabell 17 Logistikkoncept 1:s uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario**

<b>Volym- scenario</b>	<b>Mellan- lager (OPEX)</b>	<b>Lastbil (OPEX)</b>	<b>Tåg (OPEX)</b>	<b>Hamn (OPEX)</b>	<b>Skepp (OPEX)</b>	<b>Lagring (OPEX)</b>	<b>Total- kostnad (SEK/to n CO<sub>2</sub>)</b>
<b>1</b>	30	140	90	110	120	200	<b>690</b>
<b>2</b>	30	140	90	110	120	200	<b>690</b>
<b>3</b>	30	180	90	110	160	200	<b>770</b>

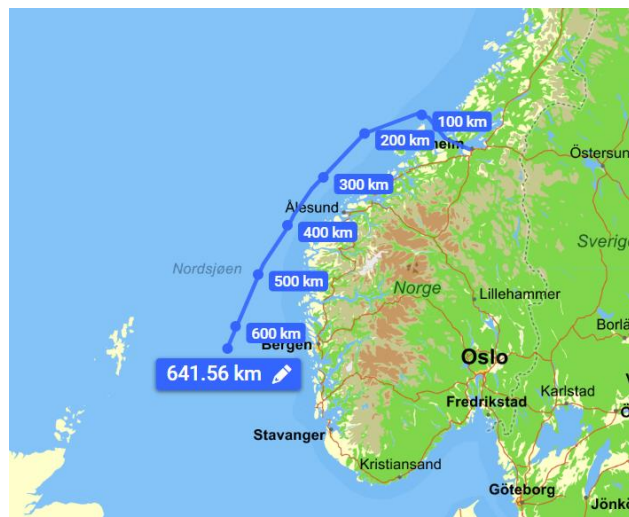
I Tabell 17 ses uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario för logistikkoncept 1. Samtliga kostnader är angivna i SEK/ton CO<sub>2</sub> och avrundade till närmsta heltal.

### **Logistikkoncept 2**

I logistikkoncept 2 beräknas den flytande koldioxiden transporteras via lastbil från Västermalmsverket till Borlänge för omlastning till tågvagnar. Därefter transporteras den vidare med tåg till Trondheim och lastas över till ett gemensamt mellanlager i väntan på fartygstransport till Northern Lights.

Lastbilens färdväg är ca 22 km lång och avverkas på ca 20 min. Lastning till tåg sker på ca 3 h och tåget färdas ca 450 km på ca 7 h.

Kostnadsberäkningarna baseras på att 3 lastbilar kör sammanlagt 3-8 rundturer per dag beroende på valt volymscenario samt att ett tågset avgår från Borlänge var annan dag.



**Figur 31** Ungefärligt avstånd för fartygstransport mellan Trondheim och Northern Lights. Från Trondheim skeppas den flytande koldioxiden ut till Northern Lights. En sträcka på ca 640 km som avverkas på ca 26 h (se Figur 31).

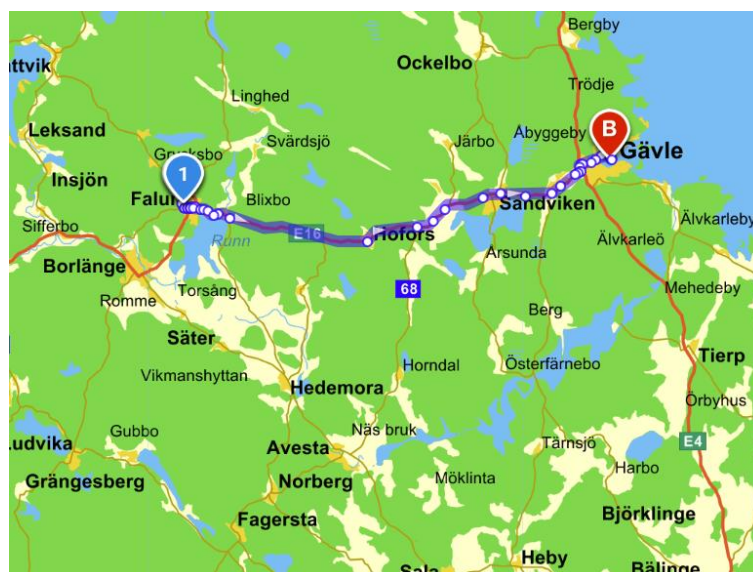
**Tabell 18** Logistikkoncept 2:s uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario

Volym-scenario	Mellan-lager (OPEX)	Lastbil (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Total-kostnad (SEK/ton CO <sub>2</sub> )
1	30	140	110	110	70	200	660
2	30	140	110	110	70	200	660
3	30	180	110	110	90	200	720

I Tabell 18 ses uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario för logistikkoncept 2. Samtliga kostnader är angivna i SEK/ton CO<sub>2</sub> och avrundade till närmsta heltal.

### Logistikkoncept 3

I logistikkoncept 3 beräknas den flytande koldioxiden transporteras från mellanlagret vid Västermalmsverket till Gävle Hamn med lastbil. Färdvägen är ca 101 km och uppskattad körtid för en lastbil är ca 1 timme och 25 minuter. I Figur 32 ses beräknad färdväg för lastbil från Falun till Gävle Hamn.



Figur 32 Beräknad färdväg för lastbil från Falun till Gävle

I Gävle Hamn lossas koldioxiden från lastbilarna till ett större gemensamt mellanlager i väntan på nästa fartyg. Lastning och lossning uppskattas till ca 1 timme vardera och efter lossning kan lastbilarna återvända till Falun.

Avståndet med fartyg från Gävle Hamn till Northern Lights i Nordsjön är ca 2000 km och uppskattas ta ca 3,5 dygn med en medelhastighet på 13 knop.

Kostnadsberäkningarna baseras på att 3 lastbilar kör sammanlagt 3-8 rundturer per dag beroende på valt volymscenario.

Tabell 19 Logistikkoncept 3:s uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario

Volym-scenario	Mellan-lager (OPEX)	Lastbil (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostnad (SEK/ton CO <sub>2</sub> )
1	30	180	-	110	120	200	650
2	30	180	-	110	120	200	650
3	30	220	-	110	160	200	720

I Tabell 19 ses uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario för logistikkoncept 3. Samtliga kostnader är angivna i SEK/ton CO<sub>2</sub> och avrundade till närmsta heltal.

#### Logistikkoncept 4

I logistikkoncept 4 beräknas den flytande koldioxiden transporteras från mellanlagret vid Västermalmsverket till Borlänge med lastbil. Därefter transporteras den vidare med tåg till Rødby i Danmark där koldioxiden lossas direkt till permanent lagring på land ca 1200 meter under mark.

Lastbilens färdväg är ca 22 km lång och avverkas på ca 20 minuter. Lastning till tåg sker på ca 3 h och tåget färdas ca 780 km på ca 11 h.

Kostnadsberäkningarna baseras på att 3 lastbilar kör sammanlagt 3-8 rundturer per dag beroende på valt volymscenario samt att ett tågset avgår från Borlänge var annan dag.

**Tabell 20 logistikkoncept 4:s uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario**

Volym- scenario	Mellanlage r (OPEX)	Lastbil (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkostna d (SEK/ton CO <sub>2</sub> )
1	30	140	160	-	-	200	<b>530</b>
2	30	140	160	-	-	200	<b>530</b>
3	30	180	160	-	-	200	<b>570</b>

I Tabell 20 ses uppskattade kostnader (OPEX) för transport och lagring i respektive volymscenario för logistikkoncept 4. Samtliga kostnader är angivna i SEK/ton CO<sub>2</sub> och avrundade till närmsta heltal.

### Tågterminal

I denna rapport har det antagits att den troligaste och mest lämpade platsen för omlastning till tåg är i närliggande Borlänge. Där finns redan idag en godsterminal för tåg samt planer på byggnation av en ny kombiterminal vid Lusberget. I Falun är inte godstrafiken lika väl utbyggd och de ekonomiska samt säkerhetsmässiga förutsättningarna bedöms olämpliga för anläggandet av en terminal för koldioxidhantering.

Oavsett placering av en terminal för omlastning till tåg innebär detta en stor investeringskostnad. Det är inte troligt att en ensam aktör kommer att stå för 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 enbart Falu Energi & Vattens behov samt en säkerhetsmarginal ifall tågtrafiken får ett avbrott uppskattas en terminal behöva en mellanlagringskapacitet på ca 3000 m<sup>3</sup> och en yta på ca 7000 m<sup>2</sup>. Investeringskostnaden uppskattas till ca 120 000 000 SEK (CAPEX).

### Hamn

I denna förstudie antas att koldioxiden transporteras till antingen Gävle Hamn eller Trondheim Hamn då dessa hamnar anses ha kommit långt i sin planering samt ligga geografiskt bra till både gällande järnvägsanslutning, väganslutning samt avstånd från Falun.

Då inga uppskattade hamnkostnader har kunnat inhämtas vare sig från Gävle Hamn eller Trondheim Hamn är prisuppgifterna hämtade från CinfraCap-projektet i Göteborg. Dessa ska alltså antas vara högst preliminära och osäkra siffror. De är

dock de enda kostnadsuppgifter som gått att frambringa under arbetet med denna studie och används därför som indikativa kostnader.

Hamnkostnaderna är beräknade utifrån uppgifter från CinfraCap samt Captimise och uppgår till ca 110 SEK/ton koldioxid (OPEX).

### Fartyg

Det antas i denna rapport att Falu Energi & Vatten kommer att anlita ett rederi/lagringsaktör som leverantör av fartygstransporter samt att dessa kommer ske i sammanslagna volymer med andra utsläppare. Vidare antas att fartygen kommer att utgå från antingen Gävle Hamn eller Trondheim Hamn och transporteras en sträcka på 2000 km (Gävle) eller 640 km (Trondheim). Detta motsvarar avståndet mellan hamnarna och Northern Lights vilken valts som representativ lagringsplats i Nordsjön.

**Tabell 21 Ungefärligt avstånd i km från Göteborgs Hamn till ett urval av lagringsplatser i Nordsjön**

Lagringsplats	Avstånd från Gävle (km)
Horisont Energy	3300
Northern Lights	2000
Storegga	1900
Greensand	1500
Endurance	2000
Carbfix	1100

I Tabell 21 ses ungefärligt avstånd från Gävle Hamn till ett urval av lagringsplatser i Nordsjön.

### Lagringsplatser

I de olika logistikscenarierna för Falu Energi & Vatten har Northern Lights och CarbonCuts använts som representativa permanenta lagringsplatser. Kostnaden för lagring är antagen till 200 SEK/ton (OPEX) vilket baseras på preliminära prisuppgifter från intervjuer med ett antal olika lagringsaktörer, intervju med Martin Rödén på Captimise samt offentliga uppgifter från Zero Emissions Platform. Kostnaden är antagen i överkant för att lämna en säkerhetsmarginal då inga fastställda pristariffer har kunnat erhållas.

### Kostnadssammanställning

I Tabell 22 presenteras ett sammanställt intervall av de löpande kostnaderna (OPEX) för respektive logistikkoncept. Då det anses osannolikt att Falu Energi & Vatten ensam kommer stå för hela investeringskostnaden för en tågterminal har denna kostnad exkluderats ur sammanställningen och behöver utredas vidare.

**Tabell 22 Kostnadsfördelning samt totalkostnad i SEK/ton CO<sub>2</sub> (OPEX) för respektive logistikkoncept vid tre olika volymscenarier. Investeringskostnad för tågterminal, mellanlager samt lastningsinfrastruktur tillkommer**

Logistik- koncept	Mellanl- ager (OPEX)	Lastbil (OPEX)	Tåg (OPEX)	Hamn (OPEX)	Skepp (OPEX)	Lagring (OPEX)	Totalkost- nad (SEK/ton CO <sub>2</sub> )
<b>1</b>	30	140-180	90	110	120-160	200	<b>690-770</b>
<b>2</b>	30	140-180	110	110	70-90	200	<b>660-720</b>
<b>3</b>	30	180-220	-	110	120-160	200	<b>640-720</b>
<b>4</b>	30	140-180	160	-	-	200	<b>530-550</b>

Investeringskostnaden (CAPEX) för en tågterminal behöver adderas till samtliga scenarier och koncept vilket gör att resultatet nedan ändå kan anses jämförbara. Även investeringskostnaden (CAPEX) för ett mellanlager vid Västermalmsverket med tillhörande lastningsinfrastruktur tillkommer.

### Regler för transport

Den som transporterar farligt gods eller lämnar farligt gods till någon annan för transport skall vidta de skyddsåtgärder och de försiktighetsmått som behövs för att förebygga och förhindra att transporten orsakar skador på liv, hälsa, miljö eller egendom. Detta innebär att transportmedel och transportanordningar som används ska vara lämpliga för transport av koldioxid.<sup>73</sup>

#### Lastbil

Arbetsgruppen för transport och lagring har presenterat fyra olika transportalternativ för avskild koldioxid. Samtliga alternativ inkluderar en första transportsträcka från Västermalmsverket med lastbil. Kraftvärmeverket ligger i nära anslutning till Falu centrum och nära Hanröleden/E16.

Transport av farligt gods med lastbil detaljregleras i MSBFS 2022:3 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.<sup>74</sup>

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 och lasten är märkt enligt ADR-S. Utöver dessa regler finns även regler för lastbilen och behållarna för koldioxiden.

<sup>73</sup> 2 § Lag (SFS 2006:263) om transport av farligt gods

<sup>74</sup> MSBFS 2022:3 om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S 2023).

Miljötillståndet kan sätta villkor för att till exempel reglera timmarna på dygnet som lastbilarna får köra. Det skulle kunna innebära transporter som endast får gå dagtid för att undvika buller från trafiken.

#### *Tunnelrestriktioner*

I allmänhet tillhör en vägtunnelkategori A och märks då inte ut med ett vägmärke. Tillhör en vägtunnelkategori A gäller inga tunnelrestriktioner.

Om transport av koldioxiden sker via lastbil så är det i tank. 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.

Det är Länsstyrelsen som beslutar lokala trafikföreskrifter om att en vägtunnel ska tillhöra tunnelkategori B, C, D eller E. Vi har inte identifierat tunnlar som har restriktioner för koldioxid transport i Falun, Borlänge eller Gävle. När transportsträckan som övervägs är definierad bör reglerna för den specifika transportsträckan bekräftas.

Om lastbilarna till exempel skulle transportera koldioxiden ända fram till Göteborgs hamn (där ett mellanlager och vidaretransport till lagringsplatser till havs planeras) så noterar vi att det finns tunnlar i Göteborg som förbjuder all transport av farligt gods, inklusive koldioxid. Sådan transport 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

Om lastbilarna skulle transportera koldioxiden till hamn i Stockholmsområdet/Norvik så är transport förbjuden enligt följande:

- Esbotunneln (del av Esbogatan vid Kistahöjden): Kategori E
- Blekholmstunneln (E4.25): Kategori E
- Hundra Knutars Backe (Drottningholmsvägen (mellan Lindhagensplan och Mariebergsgatan)): Kategori E
- Klaratunneln (mellan Tegelbacken och Mäster Samuelsgatan): Kategori E
- Muskötunneln (väg 539), i Nynäshamns och Haninge kommuner, tillhör tunnelkategori E måndag–fredag kl. 07.00–09.00 och kl. 15.00–18.00 samt söndag och helgdag kl. 15.00–20.00. Övrig tid tillhör Muskötunneln kategori E om den är öppen för annan trafik än farligt godstransport och tunnelkategori A om den är avstängd för annan trafik än farligt godstransport.
- Söderledstunneln (E4.25): Kategori E
- Södra Länken-tunneln (73/222 och 75): Kategori B mellan 07:00-19:00 alla övriga tider kategori A
- Kvarnholmsförbindelsen: Kategori E
- Norra Länken
  - Eugeniätunneln (E4 södergående): Kategori B
  - Gärdestunneln (E4 norrgående och E20 östergående till



- Karolinertunneln): Kategori B
- Hagatunneln (E4 norrgående): Kategori B
- Norrtullstunneln (E20 västergående): Kategori B
- Norrtullspåfarten (E20 västergående t): Kategori B

För vidare transport till en lagringsplats i Danmark gäller också följande restriktioner på Öresundsbron och i Öresundstunneln:

- Mellan klockan 06.00 och 19.00 alla dagar: Kategori D
- Mellan klockan 19.00 och 06.00 alla dagar: Kategori B<sup>75</sup>

### *Järnväg*

Transport av farligt gods via järnväg detaljregleras av föreskriften (MSBFS 2022:4) om transport av farligt gods på järnväg (RID-S 2023). Eventuell transport av koldioxid som sker via järnväg kommer utföras av en extern transportör som ansvarar för en säker hantering av koldioxiden. Sådan operatör kommer vara ansvarig för att utrustning uppfyller krav för säker transport samt tillstånd för transport på järnväg. Det finns vidare speciella regler för transport av farligt gods på vissa sträckor såsom Öresundstunneln som utgör en del av förbindelsen mellan Sverige och Danmark.<sup>76</sup>

### *Rörledning*

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

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

Övrig rördragning för koldioxid faller under samma punkt 4 i 2 § ledningsrättslagen som rörledning för fjärrvärmenätet. Ledningsrätten av rörledningen förrättas av Lantmäteriet och ska följa kommunens regler, inklusive detaljplaner och säkerhetsavstånd.<sup>77</sup>

En ledning får inte dras inom ett vägområde utan Trafikverkets tillstånd.<sup>78</sup> Utöver tillståndet krävs ett avtal med Trafikverket för att få tillträde till vägområdet. Om

---

<sup>75</sup> Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

<sup>76</sup> Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens krav BJ nr. BJ 5-070.001-2017 (Bestemmelser om transport af eksplosiver i jernbanetunnelerne på Storebælt og Øresund)

<sup>77</sup> 7 § och 8 § ledningsrättslagen.

<sup>78</sup> 44 § väglagen (1971:948).

ledningen kräver arbeten på järnväg krävs det också att man tecknar ett nyttjanderättsavtal med Trafikverket.<sup>79</sup>

### *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.<sup>80</sup> Falu Energi & Vatten kommer överlåta eventuell transport med båt till en transportör som tillhandahåller lämplig utrustning, innehar nödvändiga tillstånd och tillämpar säkerhetsföreskrifter och regelverk för sjötransporter av koldioxid.

### *Export av koldioxid till en lagringsplats utanför Sveriges gränser*

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

Arbetsgruppen för tillstånd noterar att det i dagsläget är 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). London Protocol<sup>81</sup> moderniserade konventionen och förbjuder dumping av alla typer av avfall i havet förutom sådant avfall som finns upptaget på en lista över tillåtna ämnen (revers list). Koldioxid var inte med på den listan. London Protocol trädde i kraft 2006.

År 2009 antogs ett tillägg till London Protocol för att tillåta export av koldioxid för geologisk lagring i en annan stat. Tillägget har inte trätt i kraft ännu eftersom inte tillräckligt många parter ratificerat tillägget. Avtalsparterna kom därför överens i oktober 2019 om att möjliggöra en provisorisk tillämpning av tillägget genom påskrift och anmälan om ett bilateralt avtal mellan två parter till London Protocol.<sup>82</sup> Export av koldioxid från Sverige för geologisk lagring kräver därför att regeringen ingår bilaterala avtal mellan berörda stater.

---

<sup>79</sup> Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:

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

<sup>80</sup> 2.9.2, Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)

<sup>81</sup> International Maritime Organisation (IMO), 1996 Protocol to the Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter 1972

<sup>82</sup> Möte LC 41/LP 14, oktober 2019.

Sveriges regering har gett Energimyndigheten i uppdrag att utarbeta sådana bilaterala avtal med Norge, Storbritannien och Nederländerna.<sup>83</sup> Under slutfasen av projektet under hösten år 2023 hade sådana bilaterala avtal ännu inte slutits.

### *Transport av avfall*

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

### **Regler för slutlig lagring**

CCS (Carbon Capture and Storage) Direktivet<sup>84</sup> 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.<sup>85</sup> CCS-direktivet har implementerats i svensk lagstiftning genom bestämmelser i miljöbalken och dess förordningar (t ex MPF), genom förordning (2014:21) om geologisk lagring av koldioxid och genom lagen (1966:314) om kontinentalsockeln. I dagsläget är storskaliga lagringsplatser endast tillåtna till havs. Inget tillstånd har ännu meddelats i Sverige. Det är inte Falu Energi & Vatten som ansöker om tillstånd för lagring av koldioxiden utan lagringstillståndet söks av den verksamhetsutövaren som driver lagringsplatsen.

### **Diskussion**

Att Västermalmsverket ligger i inlandet innebär logistiska utmaningar som en kustnära anläggning inte har men med sin placering i en större tätort med goda vägförbindelser, närhet till järnväg samt med en eventuell framtida möjlighet till permanent lagring på land visar studien på potential att överkomma dessa utmaningar.

Utöver erforderlig yta för koldioxidavskiljningsanläggningen och förvätskningsanläggningen tillkommer ca 400-800 m<sup>2</sup> för ett mellanlager med tillhörande lastningsinfrastruktur. Det är dock viktigt att tänka på området ska kunna hantera den mängd lastbilstransporter som tillkommer för koldioxidavskiljning utan att skapa problem för befintliga leveranser vilket innebär att nödvändig area troligen är större.

---

<sup>83</sup> 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

<sup>84</sup> 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

<sup>85</sup> Artikel 17 ff, Direktiv 2009/31/EG

Det går normalt att se en korrelation mellan volymstorlek och kostnader för logistiken kring koldioxid. Större volymer innebär generellt lägre kostnader i SEK/ton CO<sub>2</sub>.

Kostnadsberäkningarna visar på att en logistikkoncept 4, lastbil från avskiljningsanläggningen till en tågterminal i Borlänge och vidare med tåg till Danmark för lagring på land innebär de lägsta operativa kostnaderna av de utredda koncepten. Detta då behovet av omlastning under koldioxidens väg minimeras.

En tågterminal med tillhörande mellanlager kommer i scenarierna 1,2 samt 4 att behöva byggas i Borlänge. Det anses orimligt att anta att Falu Energi & Vatten, med relativt låga volymer CO<sub>2</sub>, själva ska bekosta en sådan anläggning utan det krävs samarbete med andra närliggande utsläppare samt logistikoperatörer. En sammanslagning av volymer CO<sub>2</sub> med andra utsläppare kommer utöver att minska Falu Energi & Vattens investeringskostnader för en terminal också ha en positiv påverkan på de operativa kostnaderna för hela logistikkedjan.

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.

### **Rekommendation**

En kartläggning av potentiella samarbetspartners bör genomföras snarast i syfte att kartlägga möjligheterna till gemensamma transporter och klustermöjligheter. Det rekommenderas också att utreda möjligheterna till statlig finansiering av gemensam infrastruktur bör också så som exempelvis tågterminaler.

Då det i studien inte anses möjligt att vinna några kostnadsfördelar för lastbilstransporter genom att samköra transporter med andra utsläppare som med de övriga transportslagen rekommenderas att vidare studera möjligheten att ersätta lastbilstransporterna med en rörledning. Den totala kostnaden bör också kunna reduceras genom effektiv planering av tågtransporterna där antalet vagnar och avgångar anpassas till volymerna. Detta öppnar exempelvis upp för samtransporter med andra aktörer i samma tågset.

För att säkra lagringsutrymme samt transporter bör intressedialoger med såväl lagringsaktörer, potentiella hamnar, rederier och logistikaktörer påbörjas tidigt.

Då transport och lagring av koldioxid i denna skala innebär säkerhetsrisker som svenska myndigheter och försäkringsbolag är ovana vid bör även här dialoger starta omgående. Internt bör lämpliga placeringar av ett mellanlager utredas vidare och diskussioner kring arbetsmiljö och säkerhet påbörjas.

## AP5 Finansiering och affärsmodell

Projektgruppen skall ta fram ett scenario för en hållbar affärsmodell för att i kommande projektsteg kunna starta en detaljprojektering för en BioCCS anläggning.

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

### Omvärldsbevakning: Lagstiftning relaterat till koldioxidavskiljning

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

#### *ETS – Handel med utsläppsrätter*

Handelssystemet med utsläppsrätter infördes genom utsläppshandelsdirektivet.<sup>86</sup> Det är implementerat i svensk rätt<sup>87</sup> 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)<sup>88</sup>. 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 gör det mer attraktivt för verksamheter att göra investeringar som minskar utsläppen.

År 2019 var priset för en utsläppsrätt ca 25 EUR/ton CO<sub>2</sub> och straffavgiften för den aktör som inte överförde tillräckligt med utsläppsrätter 100 EUR/ton CO<sub>2</sub><sup>89</sup>. Under våren 2023 var priset för en utsläppsrätt cirka 85–90 EUR/ton CO<sub>2</sub>. Västermalmsverket har tre anläggningar under ETS systemet. KVV1 och KVV2 utgör en anläggning och reservpannorna identifieras som två separata enheter.

---

<sup>86</sup> 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

<sup>87</sup> Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser

<sup>88</sup> 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)

<sup>89</sup> s. 37 (s. 40), Regeringens proposition 2020/21:27 Nytt regelverk för handel med utsläppsrätter och artikel 16 utsläppshandelsdirektivet.

Falu Energi & Vatten har tilldelats 69 576 gratiskvoter för reservpannorna i Västermalmsverket den första delen av handelsperioden (år 2021–2025)<sup>90</sup>. Det innebär att Falu Energi & Vatten under innevarande period har ett överskott på utsläppsrätter.

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.<sup>91</sup> Falu Energi & Vatten skulle dock endast få kvitta för de fossila bränslen som används vid start av kraftvärmeverken samt reservpannorna vid implementering av BioCCS på Västermalmsverket.

Under år 2023 antog EU flera ändringar till ETS-systemet.<sup>92</sup> Förslagen på hur ändringarna ska införas i svensk lagstiftning har varit ute på remiss och förväntas träda i kraft i Sverige den 1 januari 2024. Ändringarna inkluderar ytterligare minskningar av utsläppstaket. Utsläppen inom EU ETS ska minska med 62 % fram till 2030 jämfört med 2005. Detta sker dels genom två sänkningar av det totala utsläppstaket och dels genom att den linjära reduktionsfaktorn som styr den årliga minskningen av utsläppstaket höjs.

Avfallsförbränningsanläggningar i Europa skall fasas in i systemet genom att det från och med 2024 ska rapportera sina utsläpp. Kommissionen ska undersöka huruvida de ska inkluderas fullt ut från och med år 2028 men det kommer fortfarande finnas en möjlighet för andra medlemsstater att utesluta dessa fram till år 2030. I Sverige ingår redan förbränning av avfall i så kallade avfallsenergianläggningar fullt ut i EU ETS, inklusive krav att överlämna utsläppsrätter. KVV2 som eldar ett avfallsklassat bränsle ingår men överlämnar normalt inga utsläppsrätter. Returträet som är det avfallsklassade bränslet provtas årligen för fossil andel och denna har hittills endast visat på biogent ursprung för vilket inga utsläppsrätter överlämnas. Anläggningar vars utsläpp till mer än 95 % härstammar från biomassa ska inte längre ingå i EU ETS.<sup>93</sup> Detta påverkar Falu Energi & Vattens tilldelning och gör att Västermalmsverket inte längre kommer att ingå i ETS. Reservpannorna kommer fortsatt att ingå. Utsläppen ifrån dessa är dock små (normalt under 1000 ton per år).

---

<sup>90</sup> Bilaga I till Kommissionens beslut av den 29 juni 2021 om åläggande för den centrala förvaltaren av Europeiska unionens transaktionsförteckning att föra in de nationella fördelningstabellerna för [...] Sverige i Europeiska unionens transaktionsförteckning. (2021/C 302/01)

<sup>91</sup> 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

<sup>92</sup> Se tex Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/959 av den 10 maj 2023 om ändring av direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och beslut (EU) 2015/1814 om upprättande och användning av en reserv för marknadsstabilitet för unionens utsläppshandelssystem, (L 130/134)

<sup>93</sup> Naturvårdsverket, Förslag på förordningsändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, Ärendenummer: NV-00646-23, 2023-06-22 och Naturvårdsverket, Förslag på lagändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, NV-00646-23, 2023-03-23

Om EU ETS regelverk fullföljs i den form som det nu har beslutats kommer utgivningen av utsläppsrätter att upphöra år 2039. Efter det kan anläggningar som omfattas av systemet inte längre släppa ut någon koldioxid.<sup>94</sup> Med andra ord, om 15 år ska all fossil koldioxid på kraftvärmeverken i Sverige antingen inte längre uppstå eller fångas in och lagras. Huruvida det regelverket kommer att se likadant ut och förverkliga en sådan noll-version är osäkert. Men i ett perspektiv där tillståndsprocess, upphandling och byggnation av en koldioxidavskiljningsanläggning beräknas ta åtminstone 6–8 år är 15 år inte en lång period.

### *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.<sup>95</sup> 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.

CRCF förordningen väntar fortfarande på att bli slutligt antagen men en preliminär politisk överenskommelse mellan rådet, EU parlamentet och kommissionen uppnåddes den 20 februari 2024.

---

<sup>94</sup> s. 8, John Hassler, Sveriges klimatstrategi – 46 förslag för klimatomställningen i ljuset av Fit-For-55, Regeringskansliet, Klimat- och näringslivsdepartementet

<sup>95</sup> 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](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en)

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

EU kommissionen har under sommaren 2023 haft en samrådsperiod då medborgare, företag och organisationer kunnat lämna synpunkter på hur EU:s framtida strategi för industriell koldioxidhantering – avskiljning, användning och lagring av koldioxid bör utformas. Kommissionen har meddelat att de överväger: olika styrmedel för att få till ny infrastruktur för transport och lagring av koldioxid; eventuella kvalitetsstandarder för koldioxid; undersöka hur man kan bäst dra nytta av privata investeringar för minskade utsläpp och användning av koldioxid; etc. Kommissionen tog emot 205 inlägg och strategin förväntas publiceras innan årsskiftet 2023/2024.<sup>96</sup>

### *Omvända auktioner i Sverige*

Energimyndigheten föreslog år 2021 ett stödsystem för att finansiera BioCCS i Sverige i rapporten ”Första, andra, tredje... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS”.<sup>97</sup> 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 BioCCS. Energimyndigheten föreslog att ett investerings- och driftstöd (stödsystem) för BioCCS 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.<sup>98</sup>

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.<sup>99</sup> I vissa bestämda fall kan undantag ges. I juni 2022 meddelade Energimyndigheten att de var tvungna att senarelägga den första auktionen till 2023. I skrivande stund (oktober 2023) har ärendet gått till en pre-notifieringsfas hos EU kommissionen men inget beslut om undantag för ett svenskt stödsystem har enligt kommissionens eller Energimyndighetens hemsida

---

<sup>96</sup> Se EU kommissionens hemsida: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid\\_sv](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid_sv)

<sup>97</sup> Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten

<sup>98</sup> s. 6, Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31, Energimyndigheten.

<sup>99</sup> Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt



ännu fattats. Regeringen arbetar parallellt med att ta fram en förordning. Vidare skriver Energimyndigheten att de kommer behöva ca 6 månaders förberedelser efter beslut innan den första auktionen kan hållas. Det är därför troligt att den första auktionen kommer att utlysas tidigast i mitten på 2024. Därefter förväntas ansökningsperioden, auktionsförfarandet och beslutet ta ytterligare 7 månader.<sup>100</sup>

Projektgruppen noterar att allt ekonomiskt stöd från svenska staten måste ha så kallad stimulans effekt och underlätta en ny näringsverksamhet som inte annars skulle ha ägt rum. Kommissionen anser att ett stöd inte har någon stimulans effekt för Falu Energi & Vatten om arbetet med projektet eller verksamheten börjar innan man lämnar in sin ansökan i auktionsförfarandet till Energimyndigheten.<sup>101</sup> Om stödmottagaren börjar arbeta på ett projekt innan ansökan om stöd kommer stödet till företaget anses vara oförenligt med den inre marknaden. I meddelande från kommissionen definieras arbetets början som ”*det första fasta åtagandet (t.ex. att beställa utrustning eller påbörja byggarbetet) som gör en investering oåterkallelig. Markinköp och förberedande arbete såsom erhållande av tillstånd och utförande av genomförbarhetsstudier betraktas inte som arbetets början.*[...]”<sup>102</sup> Om Falu Energi & Vatten ska delta i auktionsförfarandet är det viktigt att inte påbörja arbetet med projektet innan ansökan har lämnats in.

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 måste därmed finansieras separat. Den fossila koldioxiden kan dock kvittas bort i EU ETS systemet.

#### *Bokföring, rapportering och disposition av negativa utsläpp i Sverige*

Energimyndigheten publicerade den 1 februari år 2023 rapporten: ”*Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*”.<sup>103</sup> Rapporten redovisar EU:s ramverk för reduktion av växthusgaser och argumenterar för att BioCCS skall bokföras och rapporteras under LULUCF-förordningen<sup>104</sup>. 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

---

<sup>100</sup> Se Energimyndighetens hemsida: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/#:~:text=Energimyndigheten%20är%20auktionsförrättare%20i%20ett,de%20kan%20avskilja%20och%20lagra.>

<sup>101</sup> Avsnitt 3.1 ff Meddelande från Kommissionen - Riktlinjer för statligt stöd till klimat, miljöskydd och energi 2022, (2022/C 80/01)

<sup>102</sup> Definition nummer 82, ibid.

<sup>103</sup> Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783

<sup>104</sup> 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 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.

BioCCS 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.<sup>105</sup>

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.*”<sup>106</sup> Företaget som säljer certifikatet på den frivilliga marknaden erhåller då ingen egentlig intäkt så länge beloppet är lägre än, eller lika stort som uppburet statsstöd.

Energimyndighetens rapport svarade på flera frågor men samtidigt återstår frågetecken kring hur internationell rätt (Parisavtalet), EU rätten och svensk rätt ska samverka för att möjliggöra en frivillig marknad för försäljning av minusutsläpp. De är projektgruppens uppfattning att både statligt stöd och privat finansiering behövs för att koldioxidavskiljning ska komma till stånd. Och för att attrahera privata investerare måste det finnas en möjlighet för Falu Energi & Vatten att sälja minusutsläppen på en frivillig marknad. Många är skeptiska till vilken attraktionskraft så kallade ’mitigation contributions’ kommer att ha på en frivillig marknad eftersom företag har egna miljömål i fråga om koldioxidutsläpp att leva upp till. En lösning skulle vara att ett ton avskild koldioxid kan redovisas av en stat på mellanstatlig nivå och av ett privat företag utan att det anses som dubbla anspråk. En term för detta är ’nested accounting’.<sup>107</sup>

---

<sup>105</sup> 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

<sup>106</sup> 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

<sup>107</sup> En term som används av the Integrity Council for the Voluntary Carbon Market. Se <https://icvcm.org>

Norges Miljødirektorat har i en rapport över koldioxidavskiljning<sup>108</sup> också tagit upp ämnet. De menar att de två redovisningssystemen, ett mellanstatligt och ett mellan privata aktörer, inte har gemensamma beröringspunkter och det därför inte blir tal om dubbel bokföring av anspråken. 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 avgrensning. 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.”*<sup>109</sup>

### 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. Falu Energi & Vatten blir ett kolsänkeföretag om de installerar BioCCS och de kan då sälja sina minusutsläpp som kolkrediter.

Konsumenter kan köpa klimatpositiva produkter och tillgodoräkna minusutsläppen i egna utsläppsrapporteringen. Till exempel kan ett bostadsbolag köpa klimatpositiv fjärrvärme från Falu Energi & Vatten 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”, CO<sub>2</sub> Removal Certificates.

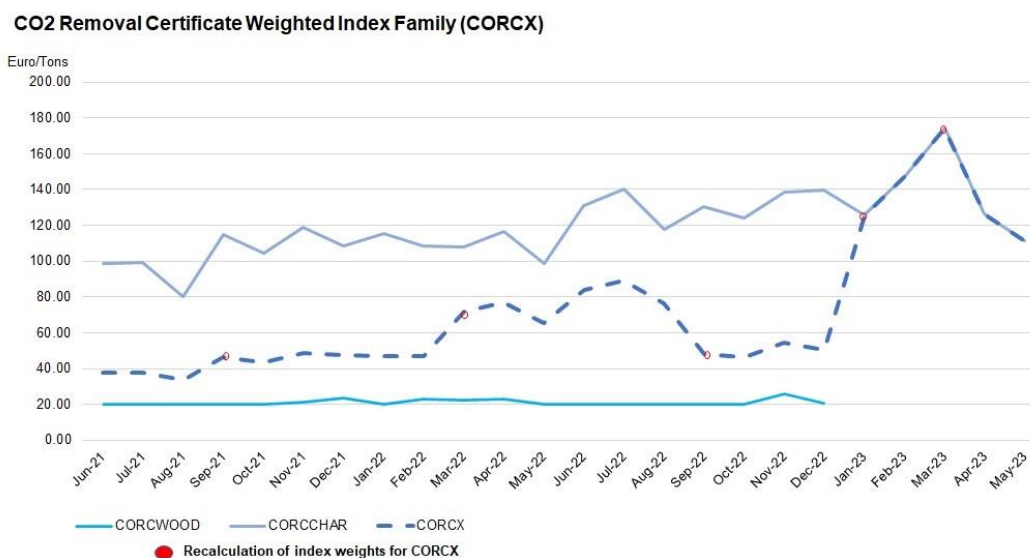
Biokol är en kolsänka och används idag som bland annat jordförbättringsmedel. Genom att biokolen används i mark lagras kolen i 150 – 5 000 år<sup>92</sup> beroende på hur stabil biokolen är dvs hur snabbt den sönderfaller och bryts ned. Flera biokolsproducenter som exempelvis det svenska företaget Bussme annonserar ut sina Corcs (kolkrediter) hos Puro.earth till ett specifikt pris. Certifikaten kan

---

<sup>108</sup> ”Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler”, Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023

<sup>109</sup> s 4, ”Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler”, Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023

därefter köpas av bolag i behov av att kompensera för sina utsläpp eller för att nå mål om klimatpositivt.



**Figur 33** visar försäljningspriset på Corcs för biokol, Corcchar (Källa puro.earth)

I Figur 33 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 Puro ökar efterfrågan 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 BioCCS 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 Nasdaq<sup>94</sup>, att målet är en global kolkreditmarknad och att vi tillsammans måste ta ett jättekälv 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.

### Affärsmodell för BioCCS

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

tydlighet kring de rätta förutsättningarna för att tekniken ska vara företagsekonomiskt intressant. Beslut om investeringar inom BioCCS 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 BioCCS 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/minskad fjärrvärmeproduktion beroende på teknikval
- Potential att stärka konkurrenskraft på existerande marknader (lokal fjärrvärme konkurrerar med andra uppvärmningsalternativ)
- Erbjudna 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 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 BioCCS anläggning skapar en unik produkt där konsumenterna kopplade till denna anläggning får värdeprodukter i form av klimatpositiv fjärrvärme och klimatpositiv elektricitet. Detta skapar en starkt 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 BioCCS anläggning.

Den 21 februari år 2023 så nådde för första gången priset 100 EUR/ton CO<sub>2</sub> inom EU ETS. Systemet bygger på att taket för utsläppsrätter och antal utsläppsrätter minskar inom systemet vilket driver upp priset.

### **Affärsmodell för en Bio-CCS-anläggning på Falu Energi & Vatten**

Kostnadskalkyler har gjorts för en Bio-CCS-anläggning på Falu Energi & Vatten. Resultatet från alla arbetspaket har sammanställts och en nuvärdeskalkyl har gjorts. Antagna värden ses i Tabell 23.

Tabell 23 visar antagna värden i kostnadskalkylen

Kostnadspost	Värde	Enhet
Kalkylränta	4	%
Inflation	2	%
Volym avskild koldioxid	140 000	ton
Investering	421 000 000	SEK
Avskrivningstid	20	år

Kostnadskalkylen utgör en resultatbudget över 20 år för en affärsmodell för Falu Energi & Vatten 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 1370 SEK/ton CO<sub>2</sub>. Adderas en grovt uppskattad investeringskostnad för en tågterminal på 120 000 000 SEK blir NPV-värdet positivt när priset för negativa utsläpp överstiger 1410 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

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 ca 40 %. Vilket innebär att för att få en positiv avkastning så behöver priset på kolkrediterna vara över totalkostnaden för BioCCS på 1370 – 1920 SEK/ton CO<sub>2</sub>.

## Diskussion

Projektet startade i augusti år 2022. Effekterna av pandemin märktes tydligt och kriget i Ukraina pågick vilket påverkade energimarknaden med höga energipriser som följd. Även materialpriser, inflation och leveranstider påverkades av världsläget men trots detta har det skett en stor utveckling inom BioCCS under projektiden.

Projektgruppen har under projektet haft återkommande träffar både för hela projektgruppen och delprojektgrupper. Utöver det genomfördes ett studiebesök till en testanläggning för koldioxidavskiljning i Sverige, föreläsningar har genomförts för att informera om projektet och förstudien har även fått spridning genom kunddialoger och engagemang inom olika nätverk och kundmöten.

Projektgruppen konstaterar att det finns förutsättningar för att etablera en avskiljningsanläggning för koldioxid på Västermalmsverket. Resultatet visar att etablera en Bio-CCS anläggning på Västermalmsverket kräver stora mängder energi i form av el, ånga och kyla för att avskilja och förvätska koldioxiden från

rökgaserna. Studien har även identifierat betydande potential för nya innovativa tekniker med lägre energiåtgång och smarta lösningar för optimering och integrering av en avskiljningsanläggning i den befintliga anläggningen.

Förstudien har påvisat att stora volymer koldioxid är fördelaktigt för transport eftersom de bidrar till en lägre totalkostnad. Det är även viktigt att minimera antalet omlastningar då studien påvisat att det är ett dyrt moment i värdekedjan för transport. För en aktör som Falu Energi & Vatten med relativt låga volymer på 140 000 ton årligen blir samarbeten med andra aktörer en viktig faktor för att effektivisera sina driftskostnader.

I området kring Falun finns flera aktörer som utreder sin potential för koldioxidavskiljning. Gävle Energi tillsammans med Gävle Hamn utreder utöver avskiljning även möjligheterna till ett kluster i Gävle Hamn. Även Tierps Energi & Miljö utreder koldioxidavskiljning. Tillsammans har Gävle Energi, Tierps Energi & Miljö samt Falu Energi & Vatten en gemensam potential att avskilja ca 270 000 ton koldioxid årligen. Det finns alltså goda möjligheter att genom samarbeten med andra utsläppare och klusterlösningar sänka kostnaderna för transport och lagring.

Standardiserade modullösningar för koldioxidavskiljning blir allt vanligare på marknaden. Dessa anläggningar tar mindre yta i anspråk, har en lägre investeringskostnad (CAPEX) samt förkortar leveranstiden för en anläggning. Väljs en avskiljningsanläggning baserad på kemisk absorption finns också möjligheter att uppdatera anläggningen med nya innovativa lösningsvätskor med effektivare egenskaper än de vätskor som finns på marknaden idag.

För att framgångsrikt implementera koldioxidavskiljning i Sverige utan att överbelasta statsfinanserna över tid är det nödvändigt med statligt stöd i form av omvända auktioner och en transparent frivillighetsmarknad. Tekniken är redo, och det finns möjligheter att ersätta fossila kolråvaror med cirkulärt biogent kol. Användningen av omvända auktioner framstår som ett effektivt sätt att främja investeringsbeslut för koldioxidavskiljningsanläggningar, särskilt när affärsmodellen är otydlig i väntan på beslut gällande regelverk och uppbyggnaden av en frivillighetsmarknad.

Projektgruppen och Falu Energi & Vatten har tillsammans påbörjat arbetet med kunddialoger. Mottagandet av projektet har varit positivt, och flera lokala aktörer visar intresse för att vara delaktiga och fortsätta dialogen kring en eventuell satsning på BioCCS och klimatpositiv fjärrvärme. Projektgruppen har förvärvat fördjupad kunskap inom området koldioxidavskiljning och stärkt sin övertygelse om att BioCCS både kan och bör utgöra en del av lösningen på klimatutmaningen.

Falu Energi & Vatten har efter denna förstudie möjlighet att fungera som inspirationskälla till andra aktörer samt som aggregator inom koldioxidavskiljning i regionen. Genom att dela med sig av sina nyvunna erfarenheter samt sin stora kompetens kan Falu Energi & Vatten bidra till en fortsatt kunskapsutveckling inom koldioxidavskiljning, potential och förutsättningar, transport- och

logistiklösningar, kommunikation samt affärsmodeller och finansiering. Detta kan gagna såväl forskning, utbildning, intressenter inom industrin, fastighetsägare, skogsindustrin samt andra energibolag och förhoppningen är att det i förlängningen bidrar till nya samarbeten.

Kostnad för BioCCS på Falu Energi & Vatten är 1370–1920 SEK/ton CO<sub>2</sub> beroende på val av avskiljningsteknik, transportlösningar och lagringsplats. Fortsatta studier inom optimering och integrering med avancerade avskiljningstekniker ger förutsättningar för en lägre energianvändning och modullösningar kan sänka investeringskostnaderna vilket minskar totalkostnaden för att avskilja koldioxiden. Kluster och samarbeten med andra aktörer minskar totalkostnaden för transporter och lagring.

### Rekommendation

Det rekommenderas att i nästa projektfas utföra fördjupade analyser och kostnadsberäkningar samt att rekommendationerna från respektive projektfas utreds vidare.

Projektgruppen rekommenderar att:

- Falu Energi & Vatten fortsätter följa utvecklingen av mer energisnåla tekniker samt att eventuellt fortsätta med en djupare teknisk utvärdering i syfte att minimera energibehovet för en avskiljningsanläggning.
- Den interna kommunikationen på Falu Energi & Vatten fortsätter i syfte att utbilda och skapa acceptans bland medarbetare.
- Påbörja samarbetsdialoger med närliggande utsläppare i syfte att aggregera volymer samt med lagringsaktörer, potentiella hamnar, rederier och logistikaktörer för ytterligare noggrannare kostnadsunderlag.

Kostnaden för BioCCS i Falun är 1370–1920 SEK/ton CO<sub>2</sub> och är i nivå med andra studier som projektgruppen tagit del av.

### Referenslista

- 1.Chandan S., Siddhant K. P., Rajnish K., Jitendra S. S., (2022) High-pressure theological signatures of CO<sub>2</sub> hydrate slurries formed from gaseous and liquid CO<sub>2</sub> relevant for refrigeration, pipeline transportation, carbon capture, and geological sequestration.
- 2.Muhammad N., Humbul S., Abdulhalim M., (2022) Carbon Capture and Utilization: A biometric analysis from 2007-2021.
3. Ronald W., Qie S., Hailong L., (2014) The future potential for Carbon Capture and Storage in climate change mitigation – an overview from perspectives of technology, economy and risk.
- 4.CO<sub>2</sub> Capture Technologies (2012)- 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. Paulina W., Andrzej S., Mario D., (2020) Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities.



7. Fredrik N., (2010) Oxy-fuel Combustion – The control of nitrogen oxides.
8. S. Garcia Luna., C. Ortiz., (2023) Conceptual assessment of sustainable methane production from oxycombustion CO<sub>2</sub> capture in waste-to-energy power plants.
9. Cong C., Yimin D., Raf D., Jan B., Xiaofeng f., (2020) Post-combustion carbon capture.
10. Anusha K., (2010) Carbon dioxide Capture by chemical absorption: A solvent comparison study.
11. F.M. Khan., V., Krishnamoorthi., T. Mahmud., (2010) Modelling reactive absorption of CO<sub>2</sub> in packed columns for post-combustion carbon capture applications.
12. Rajab K., Kathryn M., Haibo Z., Ali A., Geoff S., Edward S. R., (2014) Membrane-based carbon capture from fluegas: a review.
13. Carolina F.P., David C., Chinonyelum U (2021) Review of Cryogenic Capture Innovations and Their Potential Applications.
14. Lars O., Nils E., Umesh A., Mathias H. B., Jayalanka L. B., Songbo Y., (2016) Simulation and cost comparison of CO<sub>2</sub> liquefaction.
15. Abdullah A., Yunho H., Reinhard R., (2011) Development of CO<sub>2</sub> liquefaction cycles for CO<sub>2</sub> sequestration.
16. Youngkyun S., Cheol H., Daejun C., (2014) Economic evaluation of CO<sub>2</sub> liquefaction process for ship-based Carbon capture and Storage (CCS) Chain.
17. F.M. Khan., V., Krishnamoorthi., T. Mahmud., (2010) Modelling reactive absorption of CO<sub>2</sub> in packed columns for post-combustion carbon capture applications.
18. 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.
19. E. Sanchez Fernandez, E.L.V. Goetheer, G. Manzolini, E. Macchi, S. Rezvani, T.J.H. Vlught d., (2014) Thermodynamic assessment of amine based CO<sub>2</sub> capture technologies in power plants based on European Benchmarking Task Force methodology.
20. Alexey V., Vladimir V., Stepan B., Vladimir V., Alexander R., Sven U., Bernd S., (2013) Reclaiming of Monoethanolamine (MEA) Used in Post-Combustion CO<sub>2</sub>-Capture with Electrodialysis.
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. Suênia F. V., Lucas O. C., Romildo P. B., Karoline D. B., (2023) Evaluation of an Industrial Absorption Process for Carbon Capture Using K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Promoted by Boric Acid.
23. Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, 7 maj 2009, dnr: 551-4331-08
24. Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, ändringstillstånd, 9 juli 2015, dnr: 551-135-2015
25. Villkor 20, Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötilstånd, 7 maj 2009, dnr: 551-4331-08
26. Effekt på vardera HVC Reserv panna är idag 14,8 MW.
27. Översiktsplan för området antagen 2014-06-12.
28. Kommunfullmäktige, Detaljplan för verksamhetsområde på syrafabriksområdet väster om E16, Falu kommun, Dalarnas län, 15 december 2015.
29. Samtal med Naturvårdsverket per telefon 18 maj 2022.
30. Se avsnitt Omvärldsbevakning – pågående tillståndprocesser nedan.
31. s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning
32. S. Wang, J. Hovland and R. Bakke (2013) Anaerobic degradation of carbon capture reclaimers MEA waste
33. Alireza Bahadori (2014) Natural Gas Sweetening
34. 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.
35. Koldioxid, Carbon dioxide CAS no. 124-38-9, EC no 204-696-9
36. Se EUs Classification and Labelling Inventory där koldioxid har Hazard Statement Codes: H280 alt H281

37. Se även avsnitt ”Stockholms Exergi - Värtahamnen” för en jämförelse av mängden processkemikalier som beräknas vara mycket högre där.
38. Samrådsunderlag Vattenfall AB, 2022-09-06
39. s 12-13, ibid.
40. s 14, ibid.
41. s 33, ibid.
42. Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken, 2022-08-19
43. Nacka Tingsrätt, MMD, Kungörelse 2023-09-15, aktbilaga 33, M2479-23
44. 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/>
45. s. 19, Stockholm Exergis ansökan om miljötillstånd, aktbilaga 1, M2479-23
46. s 67-68, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning
47. s. 135, ibid.
48. s. 99 ff, Stockholm Exergi, Ändringstillstånd bio-CCS och förbränning av slam vid Värtaverket och Energihamnen, Bilaga A Teknisk beskrivning och Miljökonsekvensbeskrivning
49. s. 77-78, ibid.
50. s. 38, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.
51. s. 7-9, Söderenergi, Bio-CCS-anläggning för kraftvärmeverket (IKV) på Igelsta i Södertälje, Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken inför tillståndsansökan enligt 9 och 11 kap. miljöbalken.
52. s. 9, ibid.
53. s. 18-19, ibid.
54. s. 6 och s. 15, ibid. Den informationen vi har idag om framtida statligt stöd i form av omvända auktioner talar för att endast den biogena koldioxiden kan uppbära stöd. Den fossila delen kommer antagligen kunna avräknas i till exempel i ETS systemet.
55. s. 25-26, ibid.
56. s. 24, ibid. En så kallad computational fluid dynamic simulering.
57. <https://www.falun.se/bygga-bo--miljo/energi-och-uppvarmning.html>
58. Energimyndighetens beslut avseende programprojektet ”Bio-CCS i det smarta energisystemet i Falun”, daterat 2022-07-26
59. <https://www.projectaccess.eu/>
60. MSBFS 2022:3 om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S 2023).
61. Diskussioner med Green Cargo
62. Kristin J., Öyvind L., Donghoi K., Francesco F., Simon R., Nicola M., Mari V., (2023) Report- The CCS Midt-norge cluster.
63. <https://gavlehamn.se/mangmiljonstod-beviljat-gavle-energi-och-gavle-hamn-till-projekt-for-koldioxidlagring/>
64. Enligt diskussion med Martin Rödén, Captimise
65. <https://www.nordeafunds.com/sv/innehaall/nordsjon-blir-europas-co2-lager>
66. <https://www.nordeafunds.com/sv/innehaall/nordsjon-blir-europas-co2-lager>
67. <https://www.carboncuts.dk/en/home>
68. <https://www.carbfix.com/>
69. Direct Carbon Dioxide Capture & Storage Solutions <https://storegga.earth/>
70. Altera Infrastructure -<https://alterainfra.com/>
71. HAZARDS FROM HIGH PRESSURE CARBON DIOXIDE RELEASES DURING CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION PROCESSES, Stephen Connolly, Laurence Cusco
72. 2 § Lag (SFS 2006:263) om transport av farligt gods
73. MSBFS 2022:3 om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S 2023).
74. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
75. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens krav BJ nr. BJ 5-070.001-2017 (Bestemmelser om transport af eksplosiver i jernbanetunnelerne på Storebælt og Øresund)
76. 7 § och 8 § ledningsrättslagen.

77. 44 § väglagen (1971:948).
78. Se mer utförlig information och avtal på Trafikverkets hemsida:  
<https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/tillstand/ledningsarenden-inom-mark-och-jarnvag/>
79. 2.9.2, Transportstyrelsens föreskrifter (2022:52) om transport till sjöss av förpackat farligt gods (IMDG-koden)
80. International Maritime Organisation (IMO), 1996 Protocol to the Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter 1972
81. Möte LC 41/LP 14, oktober 2019.
82. 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
83. 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
84. Artikel 17 ff, Direktiv 2009/31/EG
85. 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
86. Lag (SFS 2020:1173) om vissa utsläpp av växthusgaser och Förordning (SFS 2020:1180) om vissa utsläpp av växthusgaser
87. 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)
88. s. 37 (s. 40), Regeringens proposition 2020/21:27 Nytt regelverk för handel med utsläppsrätter och artikel 16 utsläppshandelsdirektivet.
89. Bilaga I till Kommissionens beslut av den 29 juni 2021 om åläggande för den centrala förvaltaren av Europeiska unionens transaktionsförteckning att föra in de nationella fördelningstabellerna för [...] Sverige i Europeiska unionens transaktionsförteckning, (2021/C 302/01)
90. 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
91. 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
92. Se tex Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/959 av den 10 maj 2023 om ändring av direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och beslut (EU) 2015/1814 om upprättande och användning av en reserv för marknadsstabilitet för unionens utsläppshandelssystem, (L 130/134)
93. Naturvårdsverket, Förslag på förordningsändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, Ärendenummer: NV-00646-23, 2023-06-22 och Naturvårdsverket, Förslag på lagändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS, NV-00646-23, 2023-03-23
94. s. 8, John Hassler, Sveriges klimatstrategi – 46 förslag för klimatomställningen i ljuset av Fit-For-55, Regeringskansliet, Klimat- och näringslivsdepartementet
95. 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](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en)
96. REK:s 153:e PLENARSESSION, 8.2.2023–9.2.2023, Yttrande från Europeiska regionkommittén – Regionala anpassningsstrategier för att uppnå ett kolinlagrande jordbruk (2023/C 157/09) samt Yttrande från Europeiska ekonomiska och sociala kommittén om Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag (2023/C 184/15)

97. Se EU kommissionens hemsida: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid\\_sv](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industriell-koldioxidhantering-avskiljning-anvandning-och-lagring-av-koldioxid_sv)
98. *Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*, ER 2021:31, Energimyndigheten
99. s. 6, *Första, andra, tredje...Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*, ER 2021:31, Energimyndigheten.
100. Artikel 107 EUF, Fördraget om Europeiska unionens funktionssätt
101. Se Energimyndighetens hemsida: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/#:~:text=Energimyndigheten%20är%20auktionsförrättare%20i%20ett,de%20kan%20avskilja%20och%20lagra.>
102. Avsnitt 3.1 ff Meddelande från Kommissionen - Riktlinjer för statligt stöd till klimat, miljöskydd och energi 2022, (2022/C 80/01)
103. Definition nummer 82, *ibid.*
104. Energimyndigheten, PM regeringsuppdrag dnr 2020-025783
105. 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
106. 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.
107. 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
108. En term som används av the Integrity Council for the Voluntary Carbon Market. Se <https://ievcem.org>
109. ”*Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler*”, Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023
110. s 4, ”*Industriell karbonfjerning - potensial, kostnader og mulige virkemidler*”, Norges Miljødirektoratet, 10 mars 2023

### **Svensk lagstiftning och myndighetsföreskrifter**

- Miljöbalk (SFS 1998:808) (MB)
- Lag (SFS 1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (Sevesolagen)
- Ledningsrättslag (SFS 1973:1144)
- Lag (SFS 1978:160) om vissa rörledningar
- 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  
Plan- och Byggförordning 2011:338  
MSBFS 2022:3 om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S 2023)  
ersätter 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)

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

### **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

### Övrigt

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

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

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.

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*

Ds 2018:38, ”*Anpassad miljöprövning för en grön omställning*”, Regeringskansliet, Miljö- och energidepartementet

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

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*  
Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötillstånd, 7 maj 2009, dnr: 551-4331-08

Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljöprövningsdelegationen, Miljötillstånd, ändringstillstånd, 9 juli 2015, dnr: 551-135-2015

Översiktsplan Falu kommunantagen 2014-06-12.

Kommunfullmäktige, Detaljplan för verksamhetsområde på syrafabriksområdet väster om E16, Falu kommun, Dalarnas län, 15 december 2015

Emissionsmätandebok 2015, Förbränningsanläggningar, RAPPORT 2015:142, Energiforsk,

Kommissionens Beslut av den 29 juni 2021 om åläggande för den centrala förvaltaren av Europeiska unionens transaktionsförteckning att föra in de nationella fördelningstabellerna för Belgien, Bulgarien, Tjeckien, Danmark, Tyskland, Estland, Irland, Grekland, Spanien, Frankrike, Kroatien, Italien, Cypern, Lettland, Litauen, Luxemburg, Ungern, Nederländerna, Österrike, Polen, Portugal, Rumänien, Slovenien, Slovakien, Finland och Sverige i Europeiska unionens transaktionsförteckning, (2021/C 302/01)

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

Naturvårdsverket, *Förslag på lagändringar för att genomföra ändringar i utsläppshandelssystemet EU ETS*, Ärendenummer: NV-00646-23, 2023-03-23

REK:s 153:e PLENARSESSION, 8.2.2023–9.2.2023, Yttrande från Europeiska regionkommittén – *Regionala anpassningsstrategier för att uppnå ett kolinlagrande jordbruk* (2023/C 157/09)

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

Yttrande från Europeiska ekonomiska och sociala kommittén om *Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag* (2023/C 184/15)

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

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

Nacka Tingsrätt, MMD, Kungörelse 2023-09-15, aktbilaga 33, M2479-23

## **Bilagor**

Bilaga 1.1 – Processmodellering

Bilaga 1.2 – Känslighetsanalys

Bilaga 2.1 – FEV Intressentanalys

Bilaga 2.2 – FEV Kommunikationsplan

Bilaga 2.3 – FEV Ordlista

Bilaga 2.4 – FEV Kompetenskartläggning

Bilaga 2.5 – Dialograpport

Bilaga 2.6 – FEV Kunddialoger

Bilaga 2.7 – Intervju produktchef fjärrvärme