

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Genomförbarhetsstudie och förberedelse för investering av Bio-CCS på Hedensbyns kraftvärmeverk	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Feasibility study and preparation for investment of Bio-CCS at Hedensbyn CHP plant	
Universitet/högskola/företag Skellefteå Kraft AB	Avdelning/institution Affärsinnovation
Adress 931 80 Skellefteå	
Namn på projektledare Erik Pott	
Namn på ev övriga projektdeltagare Se separat bilaga A	
Nyckelord: 5-7 st BECCS, Bio-CCS, Minusutsläpp, Negativa utsläpp, Koldioxid infångning, Carbon Capture and Storage	

Förord

Skellefteå Krafts genomförda projekt gällande bio-CCS har delfinansierats med 50 % av Energimyndigheten inom Industriklivet. Projektet inleddes med en genomförbarhetsstudie och har följts av ett omfattande arbete för att förbereda inför en eventuell investering, omfattande exempelvis tillståndsarbete, designstudier och kommersiell analys.

Projektet har kommit att involvera flera deltagare, både externa och interna. Från Skellefteå Kraft har flera medarbetare medverkat, från funktioner såsom Värme, Affärsinnovation, Inköp, Kommunikation och Miljö. Dessa har både haft en viktig roll i att driva arbetet framåt och i att bidra med sakkunskap.

I projektets olika arbetspaket har expertkunskap tagits in från externa firmor. Stöd har getts av konsulter från Captimise, PA Consulting, Sweco, Setterwalls, COWI, Norconsult och CO2 Capsol.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
Summary	4
1 Inledning/Bakgrund	5
2 Genomförande	7
2.1 AP1: Genomförbarhetsstudie.....	7
2.2 AP2: Tillståndsarbete.....	8
2.3 AP3: Övriga utredningar och analyser.....	9
2.3.2 Kommersiella delar.....	9
2.3.3 Slutförvar och transport	10
2.3.4 Nätutredning för elnätsanslutning.....	10
2.4 AP4: Basic Engineering.....	10
2.5 AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS	11
2.6 AP6: Slutrapportering	11
3 Resultat	11
3.1 AP1: Genomförbarhetsstudie.....	11
3.1.1 CCS technology screening.....	12
3.1.2. Logistik studie.....	17
3.1.3 HSE-studie på hög nivå	24
3.1.4 Tekniska utvärderingskriterier	26
3.2 AP2: Tillståndsarbete.....	29
3.2.1 Initial utredning av behov av tillstånd och tid	29
3.2.2 Sammanfattning av genomfört tillståndsförfarande	31
3.3 AP3: Övriga utredningar och analyser.....	34
3.3.1 Mark och miljö.....	34
3.3.2 Kommersiella delar.....	34
3.3.3 Slutförvar och transport	50
3.3.4 Nätutredning för elnätsanslutning.....	54
3.4 AP4: Basic Engineering.....	54
3.4.1 Förbehandling av rökgaserna.....	54
3.4.2 Avskiljning av koldioxid	55
3.4.3 Efterbehandling CO ₂	56
3.4.4 Terminal för export.....	57
3.4.5 Energiförbrukning.....	57
3.4.6 Kvarvarande utredningspunkter.....	58
3.4.7 Kostnadsestimat	59
3.5 AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS	61
2.6 AP6: Slutrapportering	61
4 Diskussion.....	61
5 Publikationslista.....	64
6 Referenser, källor.....	65
7 Bilagor	67

Sammanfattning

År 2045 ska Sverige uppnå nettonollutsläpp och därefter negativa utsläpp, där bio-CCS pekas ut av både IPCC och på EU-nivå som en betydelsefull teknik för att uppnå negativa utsläpp. Även om bio-CCS i Sverige har stor potential finns i nuläget olika utmaningar inför en kommersialisering. Avsaknad av möjligheter för en hållbar affärsmodell har delvis mötts av det statliga stöd som ska införas med omvända auktioner. Samtidigt är marknaden ännu i utveckling och relativt omogen. Det finns en brist på demonstrationer av hela värdekedjor och fullskaliga projekt. För aktörer ger det en osäkerhet då givna standarder, gränssnitt och tillvägagångssätt inte finns eller i liten utsträckning. Generellt sett omfattar merparten av svenska initiativ tidiga konceptstudier, genomförbarhetsstudier eller enstaka pilotanläggningar. Få aktörer har kommit förbi utvecklingsfasen och inlett fördjupade aktiviteter mot faktisk etablering, varför förebilder att ta efter eller jämföra med ofta saknas.

2021 inledde Skellefteå Kraft ett större projekt för att avgöra genomförbarheten för bio-CCS ur ett tekniskt, praktiskt och affärsmässigt perspektiv, och skapa tillräckliga underlag för en eventuell framtida investering. Ambitionen var att ta steget längre och föra projektutvecklingen närmare en realisering av bio-CCS, vilket innefattat flera investeringsförberedande aktiviteter som relativt få svenska aktörer ännu gjort, såsom tillståndsansökan och leverans av en Basic Engineering.

Projektet har visat att bio-CCS är tekniskt genomförbart för panna H2 vid kraftvärmeverket Hedensbyn. Ett koncept har tagits fram med avskiljning med HPC, transport av koldioxid i pipeline till hamnen och förvätskning samt lagring vid hamnen inför transport till permanent lagring. De hinder som framför allt har identifierats härrör från marknadens relativa omognad, innefattande frågor kring kommersialisering, tillståndsmöjligheter och andra legala frågor, gränssnitt mot andra aktörer i värdekedjan och brist på givna standarder i förfaranden och teknik. Det har konstaterats att kostnaden för bio-CCS är mycket stor och medför ett betydande ekonomiskt risktagande. Tydligt är att standardisering och skalfördelar bidrar till en mer hållbar affärsmodell, vilket är utmanande för mindre aktörer. Placering och närhet till andra utsläppare med liknande tidslinjer samt lagringsprojekt har påvisats som viktigt för ett hållbart affärscase. I kontakt med olika transport- och lagringsprojekt har timing, geografisk placering och volym varit väsentligt för fortsatt engagemang. Här syns likväl marknadens relativa omognad, då tekniska och kommersiella premisser ofta skiljer sig åt eller är i

fortsatt utveckling. I nuläget är även utfallet oklart i de tillståndsprocesser som Skellefteå Kraft inlett. Flera utmaningar som identifierats i projektet är bortom bolagets kontroll och behöver klargöras på högre nivå om nationell implementation önskas accelereras, såsom frivillighetsmarknaden och anspråk på negativa utsläpp samt internationella juridiska förutsättningar för transport och lagring. Även Svenska statens ambitioner och möjliga bidrag till etablering av CO₂-infrastruktur för transport och buffertlagring av CO₂ behöver utkristalliseras i närtid.

Framåt behöver Skellefteå Kraft ta ställning till hur man bör gå vidare, med diskussion gällande om och när en bio-CCS anläggning hade varit tänkbart, där andra faktorer såsom panna H₂'s livslängd och andra potentiella koldioxidaffärer tas hänsyn till. Utredningen rekommenderar Skellefteå Krafts ledningsgrupp att starta ett affärsprojekt för CO₂ hos affärsenhet Värme men investeringar i infångningsteknik bör avvakta utredning om en ny fastbränslepanna, panna H₃. Investeringar i infrastruktur för gemensam logistik, lagring och återvinning rekommenderas utredas parallellt med en ny panna för att möjliggöra även andra aktörer i regionen att satsa på CO₂-infångning. När information presenteras för villkoren i den omvända auktionen från energimyndigheten behöver denna affärsmöjlighet jämföras med en satsning mot privatmarknaden eller återvinning av CO₂

Summary

In 2045, Sweden must achieve net zero emissions and then negative emissions, where BECCS is identified by both the IPCC and at EU level as an important technology for achieving negative emissions. Although BECCS in Sweden has great potential, there are currently various challenges before large-scale implementation. Difficulties in creating a sustainable business model has partly been met by the government support to be introduced with reverse auctions. At the same time, the market is still developing and relatively immature. There is a lack of demonstrations of entire value chains and full-scale projects. For actors, it creates uncertainty as given standards, interfaces and approaches don't exist or to a small extent. At a general level, the majority of Swedish BECCS initiatives include early concept studies, feasibility studies or occasional pilot plants. Few actors have gotten past the development phase and started in-depth activities towards actual establishment, which is why role models to follow or compare with are often missing. In 2021, Skellefteå Kraft initiated a major project to determine the feasibility of BECCS from a technical, practical and business perspective, and create sufficient basis for a possible future investment. The ambition was to go a step further and bring the project development closer to the realization of BECCS, which included several investment preparing activities that relatively few Swedish actors have yet done, such as permit application and delivery of basic engineering.

The project has shown that BECCS is technically possible for plant H₂ at Hedensbyn. A concept has been developed with HPC capture, transport of carbon dioxide in a pipeline to the port, and liquefaction and storage at the port before transport to permanent storage. Obstacles identified mainly originate from the

relative immaturity of the market, regarding questions such as commercialization, licensing possibilities and other legal issues, interfaces with other actors in the value chain and a lack of given standards in procedures and technology. It has been established that the cost of BECCS is high and involves considerable financial risk-taking. It's clear that economies of scale contribute to a more sustainable business model, which is challenging for smaller players. Location and proximity to other emitters with similar timelines as well as storage projects have proven to be important for a sustainable business case. In contact with various transport and storage projects, timing, geographical location and volume have contributed to continued commitment. In this context, the relative immaturity of the market is visible, as technical and commercial premises often differ between initiatives or are being developed. At the moment, the outcome is also unclear in the permit processes initiated by Skellefteå Kraft. Several challenges identified in the project are beyond the company's control and need to be clarified at a higher level if implementation of BECCS is to be accelerated, such as questions regarding the voluntary market and claims for negative emissions as well as international legal conditions for transport and storage.

Going forward, Skellefteå Kraft needs to take a position on how to proceed, with discussion regarding if and when a BECCS facility could be conceivable, taking in consideration other factors such as the lifespan of the boiler and other potential carbon dioxide business cases. The investigation recommends that Skellefteå Kraft's management team make CO₂ a product to be managed by the heating business area, but investments in capture technology should await investigation into a new solid fuel boiler, boiler H3. Investments in infrastructure for joint logistics, storage and recycling are recommended to be investigated in parallel with a new boiler to enable other actors in the region to invest in CO₂ capture.

1 Inledning/Bakgrund

För att begränsa den globala uppvärmningen krävs både stora utsläppsminskningar och kompletterande åtgärder. En sådan kompletterande åtgärd för att skapa negativa utsläpp kallas bio-CCS, vilken både nationellt och internationellt har pekats ut av flera organ som en viktig och nödvändig teknik för att uppnå klimatmål.

Sverige har goda möjligheter till att skapa negativa utsläpp genom bio-CCS, något som uppmärksammades i vägvalsutredningen från 2020.¹ Sverige har ett betydande antal punktutsläppskällor med biogen koldioxid. Utredningen identifierade att de största punktutsläppen av biogen koldioxid hittas inom massa- och pappersindustrin, men att el- och fjärrvärmeproduktion likväl står för en stor andel punktutsläpp av biogen koldioxid.

I september 2021 föreslog dåvarande regeringen ett driftstödssystem för bio-CCS med omvända auktioner, baserat på Energimyndighetens förslag till utformning av ett driftstöd för bio-CCS publicerat tidigare samma år. Förslaget och det

¹ SOU 2020:4 Vägen till en klimatpositiv framtid.

kommande införandet är en viktig pusselbit för att stimulera kommersialisering av bio-CCS, eftersom området i nuläget är förknippat med risker, varav de affärsmässiga är betydliga. Detta föranledde Skellefteå Kraft att genomföra en intern förstudie gällande bio-CCS, i vilken identifierades ett intresse och potential för bio-CCS på sitt kraftvärmeverk Hedensbyn, varför stöd hos Energimyndigheten för ett större projekt därefter söktes.

Bio-CCS som teknik finns idag, men marknaden är ännu omogen och kännetecknas av tidig utveckling. I Sverige har flera aktörer genomfört förstudier eller tidiga genomförbarhetsstudier, men enstaka demonstrationsanläggningar går även att finna. Insatser krävs för att möjliggöra kommersialisering av bio-CCS och införande i stor skala. I Energimyndighetens förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, påtalas behovet av demonstrationer av hela värdekedjan.²

Som en viktig samhällsaktör och med hållbarhet som kärna i sitt arbete, ser Skellefteå Kraft det som sitt ansvar att bidra och vara en drivande kraft i klimatomställningen. Skellefteå Kraft arbetar ständigt med att både upprätthålla och utveckla ett smart och hållbart energisystem, som bidrar till Sveriges klimatagenda och en hållbar framtid. En viktig del i detta är investering och forskning av nya idéer och innovation. Projektet inom bio-CCS är därför en av flera viktiga aktiviteter som Skellefteå Kraft åtagit sig.

Med stöd från Energimyndigheten inom Industriklivet, har Skellefteå Kraft sedan årsskiftet 2021/2022 och med slut under 2023, genomfört ett större projekt med flera olika arbetspaket gällande bio-CCS. Skellefteå Kraft har velat undersöka huruvida bio-CCS lämpar sig på företagets kraftvärmeverk Hedensbyn. Syftet med projektet har varit att avgöra genomförbarheten för bio-CCS på kraftvärmeverket vid Hedensbyn ur ett tekniskt, praktiskt och affärsmässigt perspektiv, och ge Skellefteå Kraft tillräckliga underlag för en eventuell framtida satsning. I detta fall har det sistnämnda inneburit att projektet har arbetat utifrån ett antagande om Skellefteå Kraft ska kunna delta i den första omvända auktionen för driftstödet. I praktiken har detta medfört en arbetshypotes med målsättning av att kunna ha en anläggning färdig och påbörja inlagring av koldioxid i början under 2027.

Skellefteå Kraft har velat förstå hur bio-CCS kan bli tekniskt och praktiskt genomförbart, hur kostnadsbilden ser ut genom hela värdekedjan och bedöma samt förbereda de tillstånd som behövs för en realisering. Detta har möjliggjorts med sex arbetspaket:

AP1: Genomförbarhetsstudie

AP2: Tillståndsarbete

AP3: Övriga utredningar och analyser

² Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*. Energimyndigheten redovisning ER 2021:31. (Eskilstuna: Energimyndigheten), 2021.

AP4: Basic Engineering

AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS

AP6: Slutrapportering.

En stor behållning med projektet och som Skellefteå Kraft anser som viktigt, är hur detta projekt kommer kunna bidra med unika kunskaper och inblick i projektutvecklingen mot en realisering av bio-CCS. I projektet har Skellefteå Kraft genomfört flera viktiga och unika aktiviteter, vilka relativt få andra aktörer i Sverige ännu inte genomfört, exempelvis inledande av tillståndsarbete och leverans av basic engineering för en bio-CCS värdekedja.

Förhoppningsvis kan projektet därför bidra till en större förståelse för vilka utmaningar som bio-CCS på systemnivå står inför en kommersialisering. Med slutrapporten finns en förhoppning att denna kan användas som vägledning för att förenkla och snabba på utvecklingen av bio-CCS i Sverige.

2 Genomförande

Projektet har delats in i två faser och utgått från sex större arbetspaket:

AP1: Genomförbarhetsstudie

AP2: Tillståndsarbete

AP3: Övriga utredningar och analyser

AP4: Basic Engineering

AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS

AP6: Slutrapportering.

I fas 1 inleddes arbetspaket 1, 2 och 3 parallellt, där beslut om att inleda fas 2 och arbetspaket 4 togs efter att arbetspaket 1 var avslutat. Under fas 2 har arbetspaket 2 och 3 fortsatt parallellt med arbetspaket 4. Arbetspaket 5 är resultatet av 4 och 6 består av resultat och slutsatser från alla tidigare arbetspaket och presenteras i form av slutrapporten. Arbetet har lett och koordinerats av ett projektkontor som Skellefteå Kraft har satt upp. I respektive arbetspaket har både interna och externa resurser tillsatts enligt bilaga A.

2.1 AP1: Genomförbarhetsstudie

I genomförbarhetsstudien har Skellefteå Kraft velat förstå hur bio-CCS tekniskt och praktiskt kan implementeras på kraftvärmeverket. Genomförbarheten har undersökts genom att utreda tillgänglig Carbon Capture teknik, möjliga scenarios för transport och lagring av koldioxid, tillhörande hälsa-, säkerhet- och miljöeffekter av bio-CCS, hur Capex och Opex kan estimeras samt hur kraftvärmeverket påverkas av olika tekniker. Syftet med arbetspaketet var att avgöra lämplighet och genomförbarhet av bio-CCS på Hedensbyn, där en viktig aspekt var att identifiera eventuella showstoppers som hindrade lämplighet och

projektet från att fortsätta. Studien utgick ifrån tre avskiljningstekniker, nämligen HPC (Hot Potassium Carbonate), Aminteknik och CAP (Chilled Ammonia Process). För HPC studerades två konfigurationer, "Electric Steam" (ES) och "Full Electric" (FE).

Studien undersökte tre olika fall för Skellefteå Kraft, baserat på framtida kapacitetsscenarios för kraftvärmeverket. Alla tre scenarierna beräknades utifrån en antagen avskiljningsandel på 90 % av tillgänglig koldioxid i rökgaserna. Detta gav följande grundscenarios:

1. En avskiljningsanläggning för panna H2 (135 000 ton/år)
2. En uppskalad kombinerad avskiljningsanläggning för panna H2 & H3 (270 000 ton/år)
3. En avskiljningsanläggning för panna H2 med dellast, 85 % belastning, 3000 timmar/år (100 000 ton/år)

Arbetspaketet gav olika möjliga koncept för värdekedjan och identifierade tekniska, legala och affärsmässiga kriterier för Skellefteå Kraft, vilket vägledde projektets fortsatta inriktning. I huvudsak ämnade studien ge Skellefteå Kraft tillräcklig kunskap och underlag för att ta ett inriktningsbeslut gällande teknik för avskiljning och koncept för värdekedjan i stort. Som en del i den tekniska screening som gjordes, genomfördes även en "Light PDP" (Light Process Design Package), gällande koldioxidinfångning med HPC-teknik. Denna gav bland annat övergripande processdesign med beskrivning, värme och massbalanser, uppskattningar av CAPEX och OPEX, preliminär anläggningslayout och utrustningslista.

För arbetet inom arbetspaketet anlätades Captimise, som utförde genomförbarhetsstudien. En grupp bestående av representanter från Affärsinnovation och Värme på Skellefteå Kraft samt PA Consulting tillsattes, för att agera som styrgrupp och ge input till studien. Light PDP:n utfördes av Giammarco Vetrocoke.

2.2 AP2: Tillståndsarbete

Parallellt med genomförbarhetsstudien inleddes arbete med tillståndprocessen, vilket pågick under hela projektperioden. Arbetspaketet har haft två huvudsakliga syften, att dels undersöka och utreda vilka tillstånd som kan behövas för en bio-CCS verksamhet dels ta fram behövda tillståndshandlingar och driva miljö- och tillståndshandlingarna. Framtagandet av tillståndshandlingar var delvis avhängt att genomförbarhetsstudien och inriktningsbeslut för konceptval gällande teknik tagits.

Arbetet drevs initialt i en mindre projektgrupp bestående av representanter från Skellefteå Krafts projektkontor, PA Consulting och av konsulter från Sweco, som anlätats för att identifiera tillståndsbehov och rekommendera tillvägagångssätt.

När arbetet för att ta fram tillståndshandlingar och driva miljö- och tillståndshandlingarna inleddes, skalades projektgruppen upp. Flera experter

från Sweco anlätades för arbetet, Setterwalls togs in som juridisk rådgivare och Skellefteå Kraft involverade flera medarbetare för att bistå arbetet.

Miljötillståndsprocesserna kan övergripande delas upp i tre paket, med en process för avskiljningen vid Hedensbyn, en för transport av avskild koldioxid till lagring i hamnen, och en för förvätskning och lagring av avskild koldioxid i hamnen. För respektive process har olika typer av utredningar, handlingar och förfaranden krävts.

2.3 AP3: Övriga utredningar och analyser

Flera mindre initiativ har drivits inom arbetspaketet för övriga utredningar och analyser, som inleddes samtidigt som genomförbarhetsstudien. I stort har arbetspaketet fokuserat på affärsutveckling, och utrett kommersiella och affärsmässiga aspekter och hinder för att säkerställa en långsiktigt fungerande värdekedja. En mindre projektgrupp bestående av representanter från Skellefteå Kraft och PA Consulting har drivit arbetet.

Arbetet kan övergripande delas upp i fyra mindre arbetspaket:

- Mark och miljö
- Kommersiella delar
- Slutförvar och transport
- Nätutredning för elnätsanslutning

2.3.1 Mark och miljö

Markanvisningar har begärts från Skellefteå kommun för terminalen i hamnen och samråd har hållits med mark- och exploateringskontoret samt Port of Skellefteå. Samarbete med Port of Skellefteå har inletts för att diskutera hamnens möjliga roll i en CO2 terminal som skulle kunna bli en gemensam resurs för regionen.

2.3.2 Kommersiella delar

Arbetet under initiativet för kommersiella delar har fokuserat på bio-CCS ur ett affärsperspektiv och vad det som affärsområde hade kunnat innebära för Skellefteå Kraft. Detta har inneburit djupgående kalkylmodellering baserat på kostnadsestimat som tagits fram i projekt och intäktsmodellering med avstamp i möjliga intäktströmmar. De intäktströmmar som setts över och analyserats är försäljning av negativa utsläpp på frivillighetsmarknaden, driftstödssystemet från Energimyndigheten och intäktströmmar från konkurrerande teknikspår med bio-CCU. En viktig bit i detta har därför varit att förstå dessa tre potentiella intäktströmmar där större analysarbete har gjorts för att förstå respektive intäktströms förutsättningar, mognadsgrad och betalningsvilja. Detta har gjorts genom att både utreda offentligt material och forskning samt i direkta dialoger med olika aktörer.

Sammankopplat med detta har även ansats gjorts för att förstå hur konkurrenslandskapet ser ut gällande bio-CCS och bio-CCU, eftersom detta har en stark korrelation till hur kommersiellt gångbart ett projekt är. En större

kartläggning genomfördes därför av Sveriges utsläppare av biogen koldioxid, där respektive aktörs nuvarande initiativ inom teknikområdet analyserades och även deras förutsättningar för eventuella satsningar.

Under initiativet för kommersiella delar har även initiativ för kommunikation av projektet genomförts, för att marknadsföra projektet som sådant och delvis undersöka marknadens intresse. Därtill genomfördes ett analysarbete gällande bio-CCS och bio-CCU ur ett varumärkesperspektiv. Flera samhällsgruppers åsikter, både nationellt och internationellt, kartlades för att förstå hur teknikspåren uppfattas av allmänheten och olika aktörer. Detta motiverades återigen av att varumärkesperspektivet har en stark korrelation till hur kommersiellt gångbart bio-CCS kan anses vara.

2.3.3 Slutförvar och transport

Tidigt i projektet inleddes ett arbete för att utöver genomförbarhetsstudiens screening av transport- och lagringsmöjligheter, fördjupa Skellefteå Krafts förståelse för möjligheterna till transport och lagring samt etablera långsiktiga relationer med relevanta aktörer. Arbetets huvudsakliga syfte var att dels säkerställa att transport och lagring var möjlig utifrån projektets satta tidshypotes dels skapa en realistisk bild av vilka kostnader som transport och lagring hade inneburit. Arbetet har inneburit screening i omgångar av olika transport-och lagringsprojekt, fördjupade dialoger med olika aktörer, flera knutna NDA:er samt utredning av Skellefteå Krafts tekniska och kommersiella förutsättningar gällande transport och lagring. Delprojektet har arbetat utifrån en målsättning om att transport och lagring ska upphandlas, varför en stor del av arbetet har kretsat kring att förstå marknadens mognad i att erbjuda dessa tjänster, hur och om en potentiell upphandling kan genomföras, och vad Skellefteå Kraft har för behov och krav i detta.

2.3.4 Nätutredning för elnätsanslutning

Elnätsanslutning har begärts från Skellefteå Kraft Elnät till terminalen i hamnen och den utrustning som krävs för förvätskning och lagring av CO₂.

2.4 AP4: Basic Engineering

Efter avslutad teknisk genomförbarhetsstudie påbörjades ett mer detaljerat FEED ("Front-end-engineering-design") arbete, kallad Basic Engineering i detta fall pga den begränsade omfattningen, och som även inkluderade framtagande av upphandlingsdokument. Ambitionen med studien var att säkerställa mognadsgrad gällande design och kostnadsestimat av hela värdekedjan. Studiens scope innefattade förbehandling och kompression av rökgaser, avskiljning med HPC och ytterligare kompression av koldioxid på Hedensbyn, transport av koldioxid via pipeline till mellanlagring, förvätskning i hamnen, mellanlagring och terminal för export i hamnen.

Inför studien anlätades COWI som Owners Engineers för att stötta Skellefteå Kraft under studien och inför dess upphandling. Norconsult anlätades för att utföra

studien tillsammans med Captimise och CO2 Capsol. I studien levererades dokumentation enligt bilaga N – Basic Engineering deliverable list, ett begränsat urval av leverablerna var:

- grundläggande design av processanläggningar med tillämpad riskbedömning
- processbeskrivningar och beskrivning av implementering av HPC-teknologin
- övergripande planlösning och markplan inklusive markbelagt rörsystem
- specifikationer gällande HSE, brand och säkerhet
- uppskattningar gällande CAPEX och OPEX
- plan för upphandling av artiklar med långa ledtider (LLI)
- bedömning av byggbarhet
- plan för kommande faser fram till driftsättning och start

2.5 AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS

Projektet har uppdelats i tre huvudfaser fram till anläggningen är i drift.

Förstudie – teknologival, Basic Engineering,

Beslutspunkt affärsprojekt som kan följas av ett investeringsbeslut.

Detail Engineering, upphandling och tillverkning av utrustning, montage och drifttagning

Det underlag vi nu har tagit fram ger oss förutsättningarna att bedöma affären och därefter ta ett möjligt investeringsbeslut. Upphandlingsdokument för Detail Engineering mm består av Basic Engineering samt en uppdaterad design basis som kommer sammanställas kort inpå upphandlingen för att vara så uppdaterad och aktuell som möjligt.

2.6 AP6: Slutrapportering

Sammanfattning av projektet för leverans till Energimyndigheten och Skellefteå Kraft. Utöver detta dokument levereras även ett omfattande internt underlag som är kommersiellt känslig information.

3 Resultat

3.1 AP1: Genomförbarhetsstudie

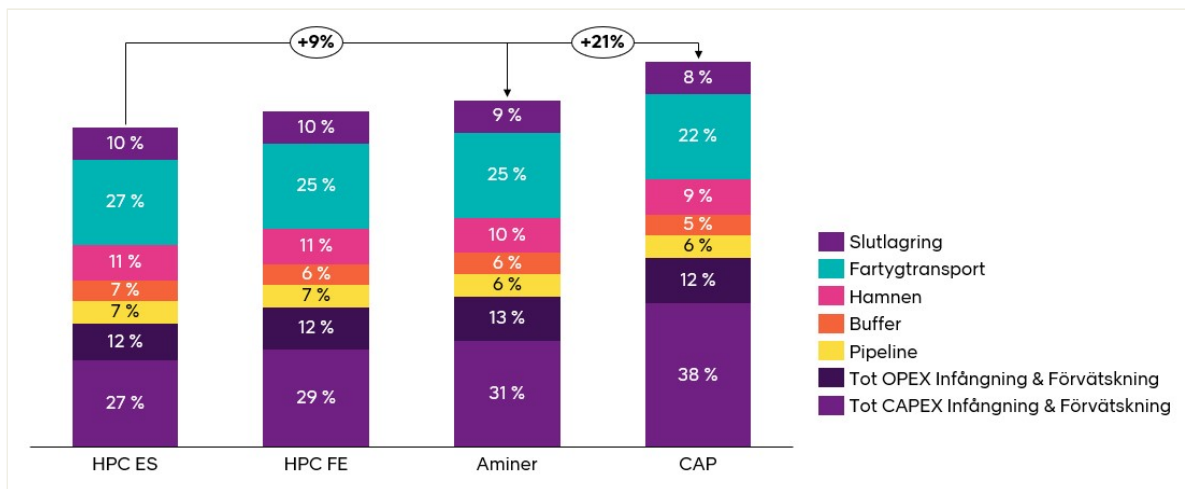
Resultaten för genomförbarhetsstudien har presenterats i ett antal delrapporter från Captimise, se bilagor B-G. I följande resultatavsnitt kommer data främst

presenteras för scenariot med en avskiljningsanläggning för panna H2 (135 000 ton/år), data för resterande scenarios går att finna i bilaga B.

Genomförbarhetsstudien visade att ett bio-CCS projekt på Hedensbyn är möjligt för ett fall med panna H2. Inga direkta showstoppers identifierades. Både leverantörer och teknologier bedöms tillgängliga för alla delar av den potentiella bio-CCS kedjan i tillräcklig mognadsgrad för att kunna leverera ett fullt fungerande projekt i tid för potentiella planer.

Koldioxidavskiljning och lagring är en lång kedja av aktiviteter, där kedjans totala kostnad per ton drivs av volym CO₂. Studien bedömer att kostnaden för hela värdekedjan kommer att vara [redacted] €/ton för panna H2. Kostnaden per ton bedöms kunna sänkas, ifall det hade varit möjligt med samarbete med andra regionala utsläppare gällande terminal och fartygstransporten. Ytterligare kostnadsbesparingar är möjliga om anläggningen för infångning inte skräddarsys för befintlig panna utan byggs på en ny panna eller tas ”från hyllan”.

Studien visar att HPC-tekniken uppvisar både den lägsta initiala investeringen samt lägsta löpande kostnaderna vid drift. Figur 1 nedan ger en procentuell jämförelse för totalkostnad på panna H2 med värmepump och olika infångningstekniker. Kostnadsskillnaderna mellan HPC-konfigurationerna ES och FE är marginell och bedöms inte kunna ligga till grund för valet av konfiguration i denna fas.



Figur 1. Procentuell kostnadsjämförelse i €/ton mellan olika infångningstekniker fördelat på olika kostnadsposter på panna H2 med värmepump. Fördelat i %-andelar pga av kommersiellt känslig information.

3.1.1 CCS technology screening

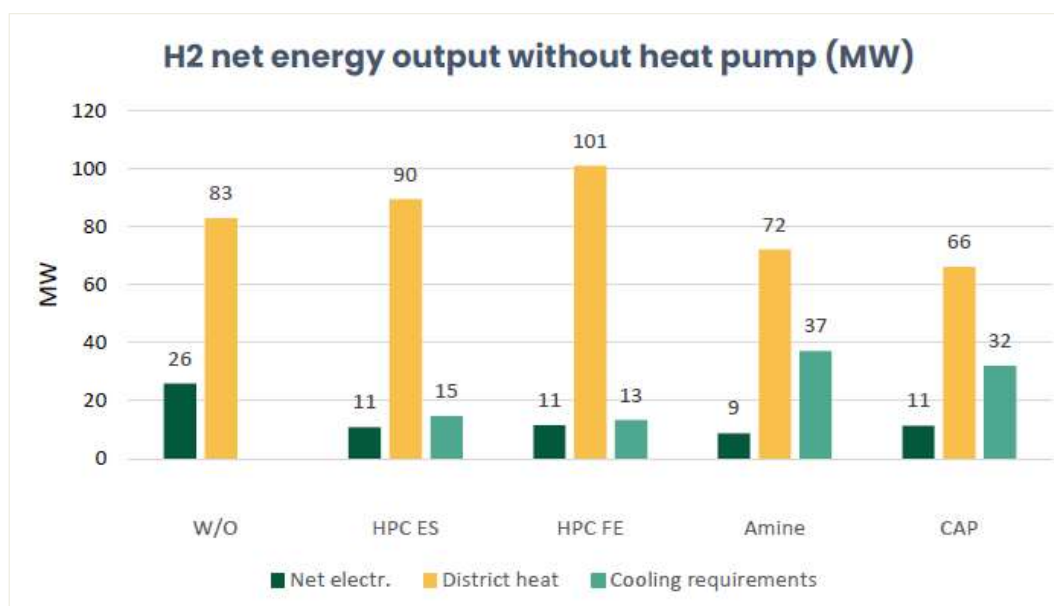
Beräkningar för värme- och massbalans samt anläggningsbehov togs fram för respektive scenario och avskiljningsteknik: Aminers, CAP HPC FE och HPC ES. Detta gav en möjlighet till att jämföra respektive teknik och scenario. Som indikerats tidigare, presenteras i följande avsnitt utfall för scenario med panna H2 (135 000 ton/år), där resterande data går att finna i bilaga B.

3.1.1.1 Värme-och massbalansberäkningar

I Figur 2 ges en jämförelse av utgående nettoenergi i form av el, värme till fjärrvärmenätet och kylbehov för H₂ utan värmepump, där både avskiljning och förvätskning ingår. Den befintliga anläggningen utan koldioxidinfångning representeras av värdena för W/O i tabellen.

Resultaten visar att båda HPC-konfigurationerna ökar nettoeffekten till fjärrvärmenätet i jämförelse med den befintliga anläggningen medan Amin-tekniken och CAP minskar den utgående fjärrvärmen. Detta är kopplat till absorptionstemperaturen för respektive teknik. HPC ger höggradig värme (70–90 °C) medan Amin- och CAP endast ger låggradig värme runt 40 grader som istället måste kylas, i detta fall mellan 30–40 MW, med hjälp av annan kyllosning såsom kyltorn eller luftkylning.

All infångningsteknik minskar nettoproduktionen av el vid H₂-anläggningen, eftersom alla teknikerna förbrukar energi. För HPC härrör energiförbrukningen framför allt från drift av rökgaskompressorn och fläktar för re-komprimering (eng: recompression) av ånga. För Amin-tekniken och CAP beror den elektriska nettoförlusten till stor del på stor förbrukning av ångutvinning, vilket minskar den totala elproduktionen i turbinen.



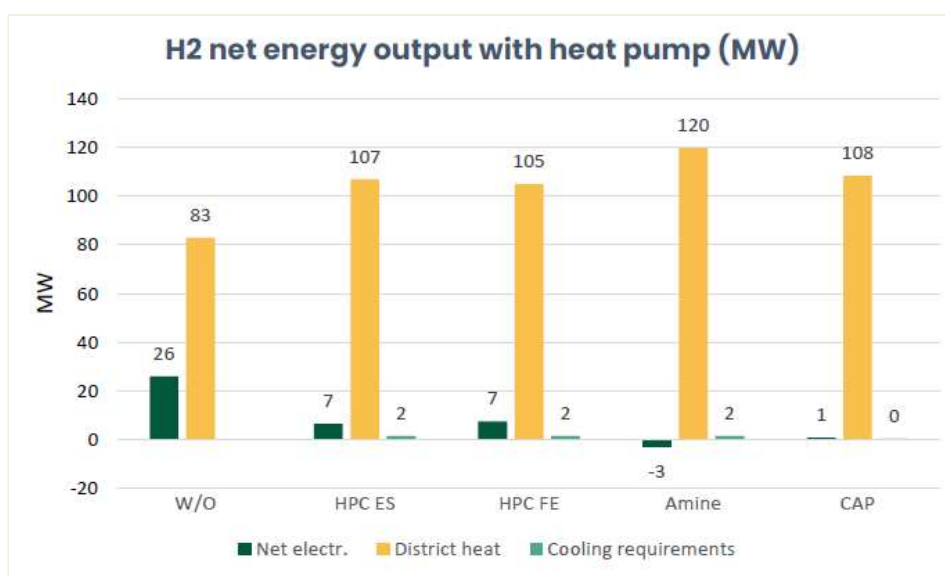
Figur 2. Nettoenergiproduktion och kylbehov för respektive infångningsteknik vid panna H₂ med efterföljande förvätskning och utan värmepump, jämfört med nuvarande drift vid panna H₂ (W/O).

För H₂ med värmepump, ger Figur 3 en jämförelse av utgående nettoenergi i form av el, värme till fjärrvärmenätet och kylbehov. Figur 3 visar att alla tekniker ökar netto-output för fjärrvärme i jämförelse med befintlig anläggning.

Som tidigare nämnt, är en stor skillnad mellan HPC och Amin-teknik samt CAP, vilken absorptionstemperatur som respektive teknik innebär. HPC-konfigurationen kan leverera höggradig värme (70–90 °C) direkt till fjärrvärmenätet, medan Amin-tekniken och CAP behöver en värmepump för att höja temperaturen på runt 40 °C till en högre temperatur på cirka 80 °C.

Kylbehovet reduceras alltså för Aminer och CAP i detta scenario, genom att använda värmepumpar och kylare, istället för externa källor, samtidigt som nettoeffekten för fjärrvärme ökas med 30–40 MW.

Som för fallet där inte värmepump används, så visar resultatet att alla infångningstekniker minskar nettoproduktionen av el vid H₂-anläggningen. För HPC beror energiförbrukningen primärt av kompressorn och fläktarna, medan energiförlusten för Aminer och CAP till stor del beror på uttaget av ånga. Detta minskar den totala elproduktionen och driften av värmepumpen. Som framgår nedan överstiger en drift med Amin-teknik och värmepump den bruttoel som för närvarande produceras vid H₂.



Figur 3. Nettoenergiproduktion och kylbehov för respektive infångningsteknik vid panna H₂ med efterföljande förvätskning och med värmepump, jämfört med nuvarande drift vid panna H₂ (W/O).

3.1.1.2 Elförbrukning

Det totala effektbehovet (MW) för en infångningsanläggning med tillhörande förvätskningsanläggning presenteras för varje avskiljningsteknik i **Fel! Hittar inte referenskölla.** och **Fel! Hittar inte referenskölla.** nedan, med och utan värmepump. Den totala elförbrukningen för CAP med efterföljande kondenseringsanläggning är betydligt lägre än andra teknologier eftersom koldioxiduttaget från desorptionsprocessen erhålls vid 20 bar tryck, vilket minskar effektbehovet för påföljande kompression.

Tabell 1. Elförbrukning (MW) för H₂ med värmepump.

H2 with heat pump (MW)				
Techn.	DH. P.	Capt.	Liq	Sum
HPC ES	0	11	5	16
HPC FE	0	14	5	19
Amine	0	14	5	19

CAP	0	15	1	16
-----	---	----	---	----

Tabell 2. *Elförbrukning (MW) för H2 utan värmepump.*

H2 w/o heat pump (MW)				
Techn.	DH. P.	Capt.	Liq	Sum
HPC ES	0,2	7	5	12
HPC FE	0,2	10	5	15
Amine	0,2	2	5	7
CAP	0,1	5	1	6

3.1.1.3 Ångförbrukning

I Tabell 3 redovisas estimerat ångbehov för respektive infångningsteknik med och utan värmepump. För studien gjordes vissa generella antaganden gällande turbinens kapacitet att klara den nödvändiga ångtillförseln. För Aminer och CAP har man antagit att högtrycksånga (90 bar / 540 °C) erhålls innan turbinen och att trycket därefter reduceras till lågtrycksånga (5 bar / 140 °C).

För HPC ES som använder ånga från turbinen har det antagits att lågtrycksånga (2 bar, 120 °C) erhålls nedströms turbinen, detta under förutsättning att kondensortrycket kan ökas till 2 bar genom att öka mottrycket någon bar jämfört med nuvarande förutsättningar.

Tabell 3. *Ångbehov (MW) för respektive infångningsteknik vid H2 med och utan värmepump. HP/LP = Högt/Lågt tryck*

Steam needs			
Techn.	HP steam	LP steam	Unit
HPC ES	0	25	MW
HPC FE	0	0	MW
Amine	31	0	MW
CAP	27	0	MW

3.1.1.4 Kylbehov

För Aminer och CAP ges en väsentlig skillnad i kylbehovet beroende på om värmepump används eller inte. En värmepumpsintegration ger möjlighet till både värmeåtervinning för fjärrvärmen och till produktion av kylmedier för att kyla av absorptionsprocessen. Om en värmepump inte integreras kommer en stor mängd lågvärdig värme behöva kylas av med hjälp av luftkylning eller ett kyltorn. Eftersom temperaturintervallet ligger mellan 40-50 grader är det ganska fördelaktigt att använda luftkylare om inga naturliga källor för vattenkylning är tillgängliga. För HPC är kylbehovet för ett system utan värmepumpsintegration i första hand kopplat till skrubbern (eng: scrubber) före rökgaskompressorn.

Tabell 4. Kylbehov (MW) för respektive infångningsteknik med efterföljande förvätskning för H2 med värmepump. DH=Fjärrvärme

Cooling needs				
Techn.	DH	Capt.	LiQ	Unit
HPC ES	46	0	1,5	MW
HPC FE	22	0	1,5	MW
Amine	58	0	1,5	MW
CAP	43	0	0,3	MW

Tabell 5. Kylbehov (MW) för respektive infångningsteknik med efterföljande förvätskning för H2 utan värmepump. DH=Fjärrvärme

Cooling needs				
Techn.	DH	Capt.	LiQ	Unit
HPC ES	28	13	1,5	MW
HPC FE	6	12	1,5	MW
Amine	10	36	1,5	MW
CAP	1	32	0,3	MW

Som framgår av tabellerna ovan reduceras kylbehovet med en värmepumpsintegration och med detta behovet av ett kyltorn eller luftkylning. Med värmepump kan lågvärdig värme omvandlas till högvärdig värme och användas till fjärrvärmenätet. För Aminer och CAP innebär ett sådant förfarande att nettoproduktionen av fjärrvärme kan öka väsentligt. Däremot kan fjärrvärmenätets nätkapacitet i stället bli en begränsande faktor i ett sådant scenario. Returflödet för fjärrvärme beräknas i scenariot med H2 vara på cirka 600 kg/s. Detta är baserat på antagandet om en konstant returtemperatur på 50 °C och 90 °C för utflöde. Det uppskattade flödes- och kylbehovet bedöms kunna anpassas ytterligare till rådande förhållanden genom att justera temperaturområdet samt modifiera delta T för värmeväxlarna.

3.1.1.5 Kemikalieanvändning

Alla infångningsteknikerna behöver kontinuerligt tillsätta ny absorbent, på grund av nedbrytning och utsläpp. Aminer består av en egen "blandning" som är bunden till vald leverantör. I studien antogs att aminen behöver ersättas med 0,1–0,5 kg/ton CO₂, vilket är beroende av NO_x- och SO_x-halten i rökgasen.

CAP använder 15 % ammoniak i vatten som absorbent. I studien antogs att 0,3–0,5 kg/ton CO₂ måste ersättas med ny ammoniak. I processen används även svavelsyra (H₂SO₄), som tillsätts till en mängd av 0,7–1,0 kg/ton CO₂. Svavelsyran reagerar med ammoniak och bildar ammoniumsulfat, vilken som biprodukt med fördel kan användas som gödningsmedel. Dock hade acceptansen av ett sådant förfarande behövt undersökas ytterligare.

HPC-tekniken använder kaliumkarbonat som absorbent. I denna studie antogs att <math><0,1 \text{ kg/ton CO}_2</math> krävs för att upprätthålla effektiv avskiljningskapacitet. Vanadin och borsyra kan också tillsättas i processen som katalysatorer. Vanadin har viss katalytisk effekt men inte lika stor som borsyra. Vanadin tillsätts för att undvika korrosion, vilket även kan undvikas genom materialval för anläggningen. Borsyra kan uteslutas, men med resultatet att infångningskapaciteten inte kan bibehållas på 90 %, om inte andra motåtgärder görs.

3.1.1.6 Avfallsprodukter

I studien baserades antaganden om avfallsmängder på en sammanställning av leverantörsinformation för respektive teknik. Alla absorbenter är reaktiva mot NO_2 och SO_2 och bildar biprodukter, så mängden avfallsprodukter är starkt korrelerad till rökgassammansättningen. Mängden avfall som genereras under en aminprocess beror på hur ofta återvinnaren (eng: reclaimer) är i drift, vilket också beror på rökgassammansättningen.

I Tabell 6 visas en indikativ uppskattning av mängden avfall (ton/år) som är associerad med var och en av teknikerna i scenariot för panna H2.

Tabell 6. Indikativ mängd avfallsprodukt som genereras per år för respektive infångningsteknik för panna H2.

Technology	Kg/tonne CO2
HPC	<math>< 0.1</math>
Amines	0.3
CAP	1.1

3.1.1.7 Vattenbalans

Vattenbalansen för infångningsenheten har i studien antagits vara +/- noll. Detta medför dock en ökad belastning på befintlig utrustning för hantering av rökgaskondensat, eftersom rökgasen måste kylas uppströms infångningsenheten. Detta leder till att befintlig utrustning sannolikt skulle behöva kompletteras för att öka kapaciteten att hantera ytterligare rökgaskondensat.

3.1.2. Logistik studie

Logistikstudien gav en överblick och förståelse för logistikkedjan, möjliga alternativ och kostnader för varje del. Analys gjordes även för att förstå hur olika volymer av CO_2 skulle påverka transportkostnaderna. Se bilaga C för full rapport.

Inom studien togs en preliminär värdekedja fram. En bio-CCS värdekedja innefattar generellt i stora drag infångningsanläggning, förvätskning, buffertlagring och lastning till fartyg för transport till slutlagringsplats. Baserat på lokalisering av Hedensbyns kraftvärmeverk identifierades och undersöktes olika alternativ för transport till hamnen: pipeline, tåg och lastbil, där respektive alternativ har sina fördelar och nackdelar.

Studien gav att ett transportkoncept där CO₂ transporteras via pipeline från Hedensbyn till hamnen, innebar mindre risker och lägre kostnader än scenarier med tåg- eller lastbilstransporter. De lägre riskerna och kostnaderna beror på det faktum att ett tåg- eller lastbilsscenario kräver mer utrustning både på plats och i hamn, vilket ökar CAPEX och risken för potentiellt läckage. Nackdelen med den potentiella läckagerisken längs rörledningen bedöms kunna hanteras med tekniska åtgärder och varningssystem.

Sammanfattningsvis visade logistikstudien på att:

- Pipeline är det mest kostnadseffektiva alternativet för att transportera CO₂ till hamnen.
- Pipeline kommer att minska risknivån i händelse av ett CO₂-läckage på grund av att det inte finns några tankar i anslutning till anläggning på Hedensbyn.
- Förvätskning kommer att placeras i hamnen om pipeline väljs och komprimering, torkning och rening görs.
- Trycknivåer för en lösning med rörledningen behöver studeras vidare.
- Med transport via lastbilar eller tåg krävs lastning på plats vid Hedensbyn och mindre bufferttankar.
- Inga direkta hinder för att hitta plats eller utrymme för en eventuell CO₂-terminal vid hamnen.
- En CO₂-terminal består av CO₂ förvätskning, pumpar, rör, buffertlagringstankar och lastarmar.
- Tankar behöver placeras nära vattnet för att minska riskerna vid en CO₂ läckage.
- Maximering av CO₂-volymer för CO₂-sjöfart minskar transportkostnader drastiskt. Samarbete med andra utsläppare för fartygstransporter har därför stor betydelse.
- Långsiktig planering gällande fartygstransporten behövs då det tar cirka 36 månader att bygga ett fartyg.
- Initial bedömning om att det kommer att finnas ett tiotal alternativ för slutförvaring vid den tidpunkt då Skellefteå Kraft har indikerat för potentiell uppstart.
- Alla slutlagringsplatser har olika väntelister, avstånd, prissättning och krav.
- Diskussioner med varje lagringsplats behövs för att teckna ”letter of interest”.
- Avståndet till det vald slutlagringsplats kommer att definiera storleken på fartygen.

3.1.2.1 Scenarion för transport till hamn

Om pipeline används, sker inte förvätskning i anslutning till kraftvärmeverket. Efter avskiljningen kommer koldioxiden i stället komprimeras, renas och torkas efter avskiljningen. I gasfas och på cirka 8 bar, kommer koldioxiden i detta scenario transporteras i rörledning till utskeppningshamnen. Föredraget tryck kommer att vara beroende av förmågan att hålla temperaturen stabil i rörledningen. I hamnen komprimeras koldioxiden ytterligare till cirka 60 bar och förvätskas sedan genom expansion. Den numera flytande koldioxiden lagras i ett buffertlager bestående av flera buffertlagertankar i hamnen i väntan på frakt till en permanent lagerplats.

För lastbilar och tåg antogs koldioxiden att transporteras kyld och förvätskad, vid 15 bar och -25°C. Dessa scenarion innebär att en förvätskningsanläggning hade behövt placeras i anslutning till avskiljning på Hedensbyn tillsammans med buffertlagringstankar för att mellanlagra koldioxid inför varje ny upphämtning. Dessutom måste buffertlagringen säkerställa tillräcklig buffertvolym i de fall tåg eller lastbil är försenad.

Om man använder tåg- eller lastbilstransporter kommer även förvätskeanläggningen samt en del av buffertlagrings- och utlastningsområdet att finnas vid Hedensbyns kraftvärmeverk, vilket innebär att en större yta hade behövts tas i anspråk i anslutning till anläggningen.

3.1.2.2 Layout vid Hedensbyn och transport till hamn

I Tabell 7 Tabell 7. **Uppskattning av areabehov för infångning och komprimering eller förvätskning vid Hedensbyn.** nedan, ges en uppskattning för totalt areabehov vid Hedensbyns kraftvärmeverk för en infångningsanläggning och nedströms aktiviteter, antingen CO₂-kompression före pipeline eller förvätskning om transport sker med tåg eller lastbil.

Tabell 7. Uppskattning av areabehov för infångning och komprimering eller förvätskning vid Hedensbyn.

	CC (m ²)	CO ₂ Compression (m ²) Gas phase pipeline	+ CO ₂ Liquefaction (m ²) For Truck or Rail	Total required area (m ²)*
H2	2,000 – 3,000	1,500	2,000 (1500+500)	3500-5000

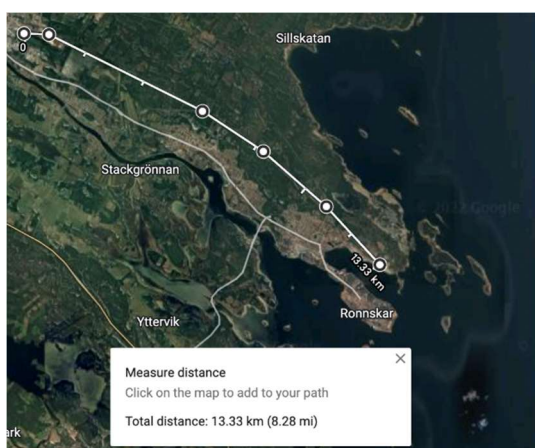
Inga signifikanta skillnader mellan undersökta infångningsteknologier bedömdes kunna fastställas i detta skede. Generellt sett tar Aminer och CAP upp en något större yta jämfört med en HPC-process. Studien indikerar att det finns en grad av flexibilitet i utformningen av en anläggning med tillhörande utrustning och rördragning, varför uppskattning utifrån tillgänglig yta i samråd med teknikleverantörer uppmanas.

Studien föreslog ett område söder om den befintliga anläggningen för infångning och kompression, se Figur 4. Dock lyftes det att ytterligare utredning bör göras gällande områdets lämplighet utifrån markkrav, bullerbegränsning och säkerhetsåtgärder.



Figur 4. Illustration av ett av de möjliga områdena för att lokalisering av infångning och komprimering av koldioxid från H2.

Ovan illustration inkluderar ej buffertlager eller lastplats för lastbils- eller tågtransporter, då transport med pipeline antogs som huvudalternativ. Figur 5 visar en första uppskattning för hur en potentiell dragning av koldioxidpipeline mellan Hedensbyn och Skellefteå hamn hade kunnat se ut. Rörledningen bedöms behöva vara cirka 13 km lång. Dock behöver rörledningstrycket, exakt dragning och markläge vidare analys.



Figur 5. Potentiell dragning för koldioxidrörledning mellan Hedensbyn och Skellefteå hamn.

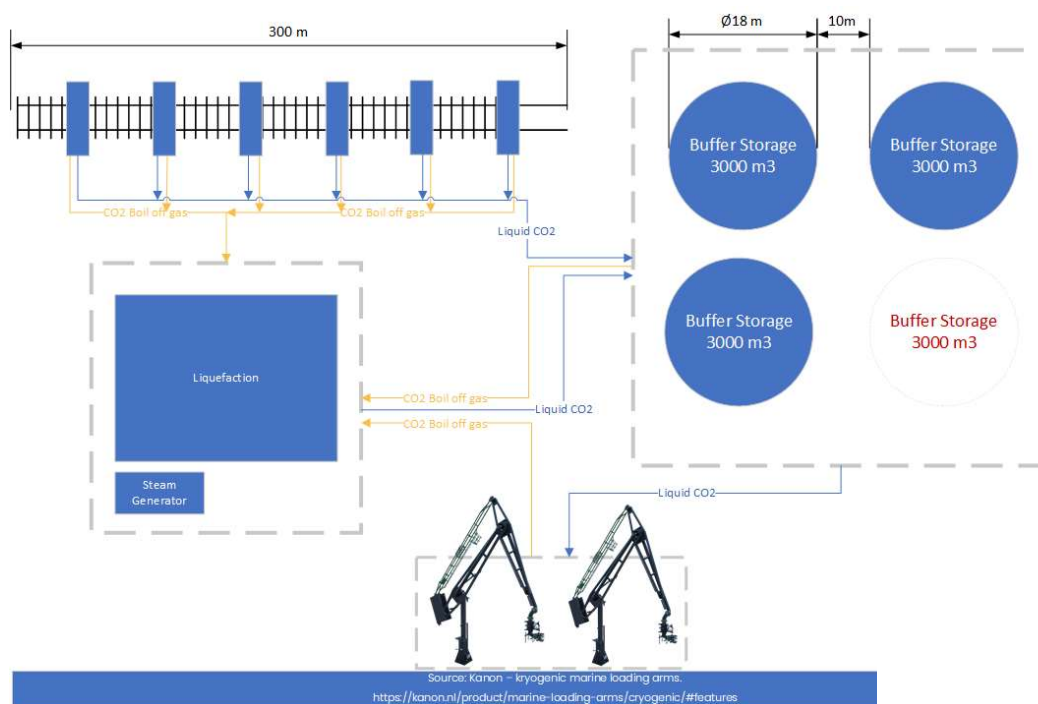
3.1.2.3 Layout vid hamnen

Kraven och layout på aktiviteter i hamnen beror på hur transport av koldioxid sker från Hedensbyn, och då antingen med pipeline, tåg eller lastbilar. Ifall tåg eller lastbil används måste hamnområdet ha ett mottagningsområde för tågen och

lastbilarna. Med ett scenario där pipeline används, kommer rörledningen att anlända till hamnen och anslutas till en förvätskningsanläggning.

Den schematiska bilden nedan, se

Figur 6, visar olika utrustningar som vanligtvis krävs i en CO₂-terminal i en hamn. Tågspåren är till för tågtransport av CO₂ och i Skellefteå Krafts fall hade detta även kunnat vara fallet ifall andra externa parter kommer att lasta av CO₂ i CO₂-terminalen.



Figur 6. Schematiskt exempel av en CO₂-terminal.

Placering av en eventuell CO₂-terminal i hamnen beror på infrastrukturplanerna för hela hamnområdet. Under studien och sedan i FEED togs en initial potentiell plan framsom vilken visade hur en CO₂-terminal möjligen kan utformas. Denna är baserat på scenariot där pipeline används för transport av koldioxid till hamnområdet. Den potentiella planen innefattar en placering av lastarmar i södra delen av hamnen och en placering av förvätskningsanläggningen vid land nära inpå, tillsammans med två tankar på vardera 1500 m³ för återförd BoG-gas (eng: boil-off gas). BoG-gas är i detta fall förvätskad koldioxid som under hantering, såsom vid lossning och lastning, avdunstar till gasform och därför åter behöver förvätskas. Rörledningen antas anlända till det område där CO₂ förvätskas. Förvätskningsanläggningen beräknas uppta en yta på cirka ~ 1000 m².

Den större tankanläggningen på 6 x 5000 m³, placeras enligt denna skiss, längre bort västerut med direkt tillgång till havet, där ett inhägnat område hade kunnat konstrueras för att leda en potentiell läcka direkt mot havsytan. Den totala volymen i denna skiss blir därför 30 000 m³.



Figur 7. Skellefteå hamn med möjlig placering och layout för en CO₂-terminal.

3.1.2.4 CO₂ frakt

I logistikstudien framgår det att det i skrivandets stund inte finns några befintliga fartyg tillgängliga för att transportera stora mängder flytande koldioxid. Det finns mindre fartyg för transport av livsmedelsklassad koldioxid för livsmedels- och dryckesindustrin som redan är fullt sysselsatta. De nya fartygen som behöver byggas kommer att ha en livslängd på mer än 25 år, är mycket dyra och har en uppskattad total leveranstid på 36–40 månader inklusive design. Logistiken och storleken på fartygen hänger ihop och i studien lyfts det hur viktigt det är att planera för transport-och slutlagring parallellt med den egna CO₂-värdekedjan. Logistikscenariot beror på volymen i kombination till den slutligt valda permanenta lagringsplatsen.

Studien visar att CAPEX ökar snabbt med antalet fartyg, varför kostnadsoptimering bygger på att man använder så få fartyg som möjligt. Små fartyg är relativt dyra vilket har stor inverkan på transportkostnaden. Andra viktiga faktorer är hamnkostnad och bränslekostnader. Eftersom kapitalkostnaden är hög bedöms en pendeltrafik vara gynnsam, där fartyg ska vara i konstant drift och inte vänta på last. Transportkostnad är beroende av fartygets storlek och fraktvolym, där en större volym innebär att skeppet kan fyllas upp i högre grad. Faktisk koldioxidvolym i kombination med utrymme för buffertlagring innan upphämtning har därför stor påverkan på kostnad.

3.1.2.5 Permanent lagring av CO₂

I studien framgår att det idag planeras storskalig CO₂-lagring under följande former:

- Uttömnda oljereservoarer med välkänd lagringskapacitet, geologi och bevisad förmåga att hålla kvar kolväten.
- Uttömnda underjordiska gasfält med välkänd kapacitet, geologi och bevisad förmåga att hålla kvar kolväten.

- Salthaltiga akviferer med stora lagringsvolymmer, men med relativt okänd geologi och därmed osäkerhet om tillstånd och egenskaper hos reservoaren.
- Lagring med basalt som reagerar med CO₂ i en relativt snabb mineraliseringsprocess.

För att vara lämpliga för permanent lagring av CO₂ måste lagringsfälten av porös bergart dessutom ha så kallad takbergart (eng: cap rock) ovanför lagringsfältet, vilket är en hårdare bergformation som stoppar CO₂ från att glida ut ur fältet ut i luften.

Det finns stora områden i Nordsjön som anses lämpliga för geologisk CO₂-lagring. Efter Parisavtalet har det skett en acceleration av initiering av CO₂-lagringsprojekt. Vid tidpunkten för genomförbarhetsstudien fanns det 2022 tio olika lagringsalternativ i Nordsjön, Barents hav, Island och runt de engelska öarna, samtidigt som fler projekt var på gång. I Figur 8 nedan visas en sammanställning av potentiella lagringsplatser i eller runt Nordsjön, vilka vid tidpunkten för genomförbarhetsstudien ansågs kunna vara tillgängliga för lagring runt 2027. De potentiella permanenta lagringsplatserna i Östersjön, såsom Faludden utanför Gotland, är ännu inte i projektutvecklingsfas och det är idag okänt om och när de kommer att vara tillgängliga för CO₂-lagring.



Figur 8. Permanenta lagringsplatser med planer för drift 2024–2026. Lagringsprojekt av intresse för Skellefteå Kraft (markerade blå) och potentiella lagringsplatser runt Östersjön (markerad rosa).³

Vid tiden för genomförbarhetsstudien befann sig projekten i bilden ovan fortfarande i ett planeringsstadiet och ingen var ännu i drift. I studien påpekas det att det alltid finns en risk att planeringen kommer att ändras och att det endast

³ Enligt data från år 2022.

genom direkt dialog med respektive projekt är möjligt att dels följa utvecklingen av deras verksamhet dels skapa en tydlig bild av deras kostnader, risker och möjligheter. Pris för lagring mot slutkund bedöms bero på lagringsprojektens egna kostnader och marginalkrav samt den enskilda utsläpparens CO₂-volym, leveranstakt över kalenderåret och avtalsmässiga åtagande över tid.

3.1.3 HSE-studie på hög nivå

Olika risker identifierades i studien. Sammanfattningsvis innebar dessa kommersiella risker över tid, tekniska risker relaterade till valet av avskiljningsteknik och tillståndsprocess samt tekniska risker relaterade till eventuellt läckage av CO₂ från tankar, rörledningar och annan CO₂-utrustning samt från slutförvaringen. Se bilaga D för full rapport.

Utöver de kommersiella riskerna i projektet, bedöms de tekniska projektriskerna för HPC ES, Full Electric eller CAP-konfigurationerna ligga inom normala nivåer för tekniska projektrisker. En aminbaserad avskiljningsteknik hade adderat HSE-risker gällande giftiga biprodukter i processen såväl som i resterande rökgas som lämnar skorsten. HSE-riskerna adderar även risker till en eventuell tillståndsprocess utifrån allmänhetens uppfattning om potentiella nitrosaminer till den omgivande miljön. De tekniska HSE-riskerna gällande potentiellt läckage av trycksatt eller flytande CO₂ nedströms efter avskiljningsprocessen, bedömdes behöva särskild uppmärksamhet i fortsatta studier.

I Tabell 1. Elförbrukning (MW) för H2 med värmepump.

H2 with heat pump (MW)				
Techn.	DH. P.	Capt.	Liq	Sum
HPC ES	0	11	5	16
HPC FE	0	14	5	19
Amine	0	14	5	19
CAP	0	15	1	16

Tabell 2. Elförbrukning (MW) för H2 utan värmepump.

H2 w/o heat pump (MW)				
Techn.	DH. P.	Capt.	Liq	Sum
HPC ES	0,2	7	5	12
HPC FE	0,2	10	5	15
Amine	0,2	2	5	7
CAP	0,1	5	1	6

nedan ges en sammanfattning av de huvudsakliga risker som identifierats i relation till bio-CCS.

Tabell 8. Sammanfattning av identifierade risker förknippade med bio-CCS.

Risk	Comment
Chemical usage	All capture technologies include chemical handling, concentrate or in solution, which at the event of skin contact could create discomfort and irritation. Chemicals may also be harmful to aquatic organisms.
By- and waste products	An amine process forms potentially carcinogenic by-products. Waste products are classified as toxic and hazardous waste, depending on the choice of technology and catalysts.
Fire hazard	The amine reclaiming unit may require ATEX-classified areas. Explosion risk also occurs during liquefaction if ammonia is used as a refrigerant during low pressure liquefaction
Emissions to air	Preventive measures are required to prevent the release of ammonia (CAP), aerosols of nitrosamines and nitramines (amines).
Technology readiness level (TRL)	TRL refers to the fact that a technology has been demonstrated at a certain scale and not how well the technology has performed. Amine, HPC and CAP are considered to be in the range 7-9. HPC and Amine technologies have been demonstrated in hundreds of full-scale natural gas purification plants.
Liquid or compressed carbon dioxide leakages	Emissions of compressed or liquid carbon dioxide will have a major impact on the surrounding area. Simulations of tank ruptures or a pipeline breakage shows that the carbon dioxide clouds are formed which will affect the area before it evaporates. Shipping liquid carbon dioxide is done today for food grade CO ₂ and should also be seen as a potential risk due to collisions. This should be prevented in the planning stage.

3.1.3.1 Kommersiella risker

Konceptet för bio-CCS med negativa utsläpp bygger på att negativa utsläpp och Carbon Removal Credits (CRC) kommer att behövas i stor skala över hela världen för att initialt kompensera för utsläpp som inte kan undvikas förrän stopp av utsläppet är möjligt, och sedan för att ta bort CO₂ från atmosfären tills vi återtar nivån 300–350 ppm. Alla potentiella intäkter är avgörande för att göra ett CCS-projekt genomförbart, dock innebär osäkerheten i framtida potentiella inkomstnivåer en finansiell risk. Innan en kommersiell marknad för CRC:s är fullt etablerad kommer Energimyndighetens bidrag med omvända auktioner att etableras. Riskerna för projektet bedöms vara att balansera kostnader framöver i projektet med hänsyn till framsteg för bidrag och intäkter från CRC.

3.1.3.2 Tekniska risker relaterade till avskiljningsteknik

De tekniska riskerna med infångningsteknik är främst relaterade till aminer som absorberer. Flera stora EPC-företag har sina egna proprietära aminrecept och vissa använder BASF Oase Blue amin recept. Aminer är välbeprövade och stabila inom gas- och kemikalier industrier där syre och NO_x inte finns. I rökgasen efter förbränning, reagerar aminer med syre och NO_x och bildar mycket giftiga nedbrytningsprodukter som skapar HSE-problem och risk för människor i anläggningen och för miljön. Detta hade på sikt kan skapa en projektrisk om tillstånd för verksamhet försenas i och med detta.

3.1.3.3 Tekniska risker relaterade till potentiellt CO₂-läckage

Identifierade tekniska risker gällande läckage av CO₂ i transportkedjan är främst relaterat till bristen på reglering, erfarenhet av stora volymer CO₂ bland räddningspersonal samt det faktum att en kvävande gas kan komma att transporteras i närheten av befolkning. LNG och LPG, vilka är farligare gaser än CO₂, hanteras i stora mängder sedan decennier, men regelverk för detta är etablerat och därför är riskerna välkända och hanterade. Förståelsen för CO₂ förutspås att successivt öka de kommande åren, där tekniska säkerhetsåtgärder kommer att fodras därtill fastställas. Därefter antas CO₂ komma att behandlas på liknande sätt som andra flytande gaser såsom LNG och LPG.

För permanent lagring av CO₂ finns en allmän oro kring framtida läckage. Dock anses nu riskerna för läckage vara mycket låga och dessutom tillräckligt hanterbara om det skulle uppstå ett läckage. Detta givet tillgänglig geotekniska kunskap från olje- och gasindustrin kombinerat med erfarenheten av CO₂-lagring med EOR (enhanced oil recovery) i oljefält under de senaste 50 åren samt lagring i salthaltiga akviferer i Norge och Afrika de senaste 25 åren.

3.1.4 Tekniska utvärderingskriterier

I genomförbarhetsstudien sista fas gjordes en ansats att välja inriktning av infångningsteknik och scenarior, för att kunna fortsätta arbetet gällande tillstånd och fördjupade designstudier. Respektive teknik diskuterades och utvärderades utifrån ett flertal aspekter som tagits upp i studien och presenteras i kommande avsnitt. Detta vägdes även samman med det parallella arbete som fördes i AP2 gällande tillstånd.

3.1.4.1 Teknisk utvärdering

Alla studerade infångningstekniker har ett stort kylbehov på grund av att rökgaserna måste kylas ner från 54 till ca 40 grader innan koldioxidseparation kan ske. Screening av koldioxidavskiljningsteknik och tillhörande värme- och massbalans beräkningar visade att var och en av teknikerna ökade nettoproduktionen av fjärrvärme (förutom scenariot med aminer eller CAP utan värmepump). Fjärrvärmenätets kapacitet blir i detta en begränsande faktor eftersom kall retur kommer behöva användas för avskiljningsanläggningen, vilket i slutändan påverkar pannans eller pannornas drift. Tillkomsten av en infångningsanläggning hade krävt att fjärrvärmenätets kapacitet ökar eller att pannans belastning minskar.

Elförbrukningen är som lägst för aminer och CAP, men om spillvärme ska användas för fjärrvärmenätet kräver dessa två tekniker användning av värmepumpar för att kunna lyfta den lågradiga spillvärmen upp till fjärrvärmepumpens temperaturer, vilket leder till en ökad elförbrukning. Genom att utesluta värmepumpen från processkonfigurationen blir nettofjärrvärmeproduktionen minskad för CAP och Amin liksom elförbrukningen. Detta alternativ innebär dock ett stort behov av ytterligare kylsystem. Möjlighet till alternativ för extern kylning bedöms inte finnas i dagsläget, och behov hade behövts täckas av luftkylning eller kyltorn vilket inte heller finns idag. Detta hade ökat den totala kostnaden för alternativen, såväl som behov av yta. Kontinuerlig tillförsel av lågtrycksånga på mellan 2–5 bar krävs för alla teknologier förutom HPC FE. El- och ångbehov har i studien antagits kunna tillgodoseas från internt producerande källor.

Både HPC-tekniken och CAP använder en icke-organisk blandning, vilka inte bildar några giftiga ämnen och är därför mindre giftiga absorbenter än aminer. Om aminer används bildas nitrosaminer som kan vara skadliga för både driftpersonal och omgivande områden om de sprids med rökgasen genom skorstenen. Att välja mellan de två mest gynnsamma teknikerna ur ett kostnadsperspektiv, aminer och HPC, kan därför bli ett val som påverkas av allmänhetens potentiella förtroende för aminer och tillit till att rökgasen kommer att vara ren så att nitrosaminer inte sprids med rökgasen.

Lastfallsprofil

HPC är mindre flexibel i drift än Aminer och CAP. Aminer och CAP antas vara möjliga att gå ner till ca 30% last utan att det ger någon större påverkan på själva avskiljningsprocessen. HPC konfigurationer är begränsade av kompressorn vilken kan (beroende på val av kompressor) gå ner till 60–70% last. Därefter är det möjligt att fortsätta köra anläggningen, men då med recirkulering av rökgas vilket har en spädningseffekt på rökgassammansättningen. Kompressorns arbete är fortsatt på samma nivå som tidigare, varför elförbrukningen är densamma vid 70% last som vid 30% last. Lägre koldioxidhalt i rökgasen medför att spädning av absorbenten krävs. HPC lämpar sig därmed inte för körningar med daglig variation som understiger 70% last. Beroende på driftsprofil kan det vara lämpligt att dimensionera anläggningen efter ett lägre lastfall än 100% om körningen ligger konstant lägre.

I genomförbarhetsstudien lyfts hur den framtida antagna driftsprofilen behöver ses över noggrant och hur en framtida driftsstrategi har stort värde för att avgöra vilken infångningsteknik som ska prioriteras för ytterligare detaljerade studier.

Alla studerade infångningstekniker kommer att avsevärt minska elproduktionen. Samtidigt så antas inte lastprofilen för Skellefteå Kraft att påverkas av elprisvariationer, varför ingen daglig lastjustering förväntas i stor utsträckning. HPC-tekniken tycks därför passa Skellefteå Krafts framtida lastprofil eftersom den mer relaterar till värmebehov snarare än elprissättning. HPC-tekniken kommer även att ha den högsta elektriska produktionen mellan de jämförda teknologierna. Värt att notera är även att förvätskningsanläggningen, oavsett

infångningsteknik, har en mycket limiterad möjlighet att gå ner i lastfall utan betydande energistraff i form av elförbrukning och kylbehov.

Fjärrvärmenätets kapacitet

Alla infångningstekniker kommer på ett eller annat sätt att öka fjärrvärmeeffekten och även förvätskningsanläggningen kommer att tillföra en betydande mängd högvärdig värme. Detta ställer krav på att optimera det begränsade tillgängliga returflödet från fjärrvärmenätet.

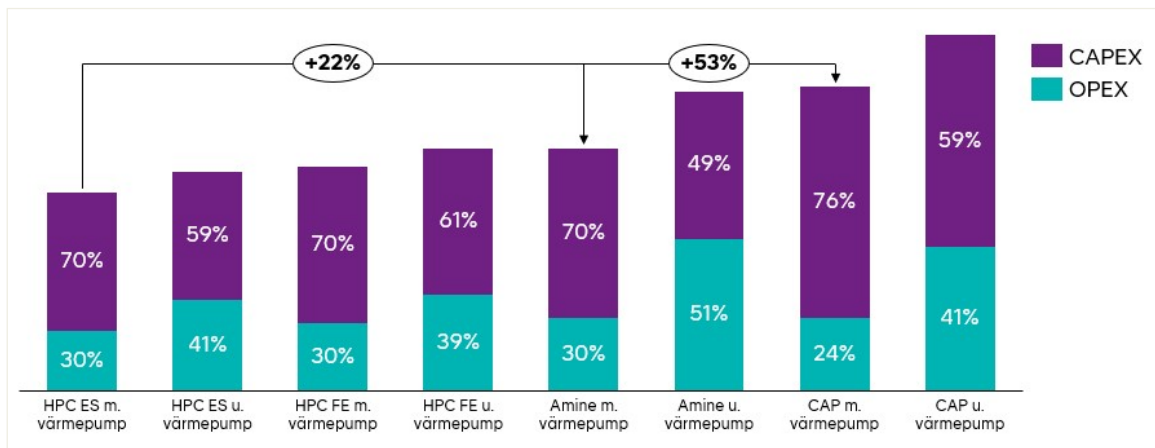
Kylbehov

Ytterligare kylning krävs för alla infångningstekniker, där mängden kylning som krävs varierar avsevärt mellan teknikerna och de olika möjliga konfigurationerna. Ytterligare kyla behöver hanteras av en kombination av tillskott av fjärrvärme liksom användning av kylmedium, luftkylning eller kyltorn.

Förvätskningsanläggningen kräver också en betydande mängd kylning. En stor mängd höggradig värme från processen kan användas till fjärrvärme, men även en betydande del lågtemperaturkyla krävs.

Kostnad för infångning

Att lägga till en CCS-anläggning på den befintliga H₂-anläggningen innebär ökade kostnader. Kostnadsuppskattningar för avskiljning och förvätskning för de olika infångningsteknologierna visar att priset varierar och även hur användning av värmepump påverkar, se Figur 9. Skillnaden är marginell mellan HPC ES och HPC FE, medan resultat indikerar att total kostnad per €/ton CO₂ för infångning och förvätskning ökar med amin-teknik och CAP.



Figur 9. CAPEX och OPEX uppskattningar per €/ton CO₂ för respektive infångningsteknik med och utan värmepump.

Tillstånd

Att välja teknik ställer olika krav på framtida tillståndsansökningar. Under tillståndsprcessen är det viktigt att ha så mycket data och underlag som möjligt

för att underlätta själva tillståndsprocessen. Förseningar med att få tillstånd blir avgörande för genomförandet av den övergripande planeringen av en CCS-anläggning. Om amin-teknik väljs, måste en Hazop av en fullskalig aminbaserad infångningsanläggning från relevant EPC-leverantör finnas till hands, innan tillståndsansökan för att tillräcklig information ska has. Detta på grund av riskerna kring nitrosaminer. HPC har inte något liknande problematiskt scenario eftersom det inte finns några farliga bi-reaktioner med denna teknik.

3.1.4.2 Inriktningsbeslut

Skellefteå Kraft kom slutligen fram till att HPC-tekniken verkade vara mest lovande teknik initialt och borde prioriteras i fortsatt analys. Detta eftersom den är giftfri, har lägre HSE-risker än aminer och att studien visade att HPC-tekniken uppvisar både den lägsta initiala investeringen samt de lägsta löpande kostnaderna vid drift. HPC-tekniken ansågs passa Skellefteå Krafts framtida lastprofil eftersom den mer relaterar till värmebehov snarare än elprissättning, även om HPC-tekniken även ger den högsta elektriska produktionen jämfört med de andra teknologierna. Framför allt värdesattes hur HPC FE-konfigurationen verkar ha minst effekt på befintliga och nya kraftvärmeverk (H2&H3) samt har minst kylbehov.

Skellefteå Kraft beslutade därför att ytterligare verifiera och mogna detta beslut rörande HPC, genom att kontakta Giammarco Vetrocoke för utförandet av en mer detaljerad "light PDP". Detta var ett processdesignpaket för en specifik HPC FE-konfiguration kallad "Auto Thermal Concept", som förväntades kunna användas som vägledning för ytterligare Basic Engineering-studier. Delar av detta paket ansågs också kunna användas som grund för design i en offentlig anbudsprocess för att bygga en fullskalig anläggning. Rapporten finns som bilaga, se bilaga H.

Gällande hela värdekedjan, beslutade även Skellefteå Kraft att man i ett nästa steg skulle arbeta vidare med scenariot för förvätskning i hamnen och transport av koldioxid med pipeline från Hedensbyn. Detta grundade sig i det faktum att logistikstudien identifierat att det koncept där CO₂ transporteras via pipeline från Hedensbyn till hamnen, innebar mindre risker och lägre kostnader än scenarier med tåg- eller lastbilstransporter.

3.2 AP2: Tillståndsarbete

3.2.1 Initial utredning av behov av tillstånd och tid

En initial utredning genomfördes för att tydliggöra vilka typer av tillstånd som kan bli aktuella för en bio-CCS värdekedja och vilka juridiska aspekter som behövs tas hänsyn till. Under det tidiga tillståndsarbetet blev det tydligt hur viktigt val av teknik och koncept är för att kunna gå vidare i tillståndsarbetet och inleda arbetet med ansökningshandlingar. Bilaga I är en delrapport från Sweco som förklarar varför och hur ett teknikval behöver ske utifrån ett lagstiftningsperspektiv samt en bedömning av vad olika infångningstekniker hade inneburit i en tillståndsprocess. Ytterligare aspekt som belystes tidigt i utredningen var huruvida gränsöverskridande transport av avskild koldioxid är tillåtet och om nuvarande lagstiftning kan agera hinder för fortsatt utveckling.

Londonprotokollet förbjuder för närvarande transport av koldioxid för lagring mellan länder. Än har inte förslaget från 2009, som ska möjliggöra transport av koldioxid för lagring i annan stat, trätt i kraft. Det finns en provisorisk tillämpning som är möjlig om berört land lämnar en avsiktsförklaring till IMO (Internationella sjöfartsorganisationen) och om ett särskilt mellanstatligt lagringsavtal ingås mellan berörda parter. Sverige har inlett sådana konversationer med Norge, men än är inget klart. Samtidigt syns flera aktiva lagringsprojekt i både Norge och andra länder runt om Sverige, varför drivkraften att få en fungerande juridisk lösning på plats anses som stor. Även om Londonprotokollet idag utgör ett hinder, så har bedömningen därför gjorts att det sannolikt inte kommer göra det på sikt.

De tillstånd som initialt bedömdes vara aktuella för Skellefteå Krafts potentiella bio-CCS värdekedja i Skellefteå redogörs för nedan, tillsammans med tillhörande preliminär bedömning av vad som krävdes för att erhålla dessa.

3.2.1.1 Avskiljning av CO₂ vid Hedensbyn

1. Ändringstillstånd av nuvarande miljötillståndet

För avskiljningsanläggningen på Hedensbyn gjordes bedömningen att ett ändringstillstånd av nuvarande miljötillstånd för kraftvärmeverket bör kunna vara aktuellt, det vill säga en koldioxidavskiljningsanläggning bedömdes inte behöva innebära att ett nytt tillstånd måste sökas. Ett ändringstillstånd är samma procedur som för att söka ett nytt miljötillstånd men prövningen avgränsas till att bara prova den tillkommande delen. Formellt heter det *Tillståndsplikt B* och verksamhetskod 90.500-i gäller för att avskilja koldioxidströmmar för geologisk lagring av koldioxid från industriutsläppsverksamheter som beskrivs i 1 kap. 2 § i industriutsläppsförordningen.

Formella delar som ingår är samråd, teknisk beskrivning med delutredningar och miljökonsekvensbeskrivning med delutredningar inklusive risk. Att utarbeta ansökningshandlingar givet att tekniskt underlag finns framme bedömdes ta cirka 3-5 månader, medan handläggning hos domstol uppskattades till cirka 6-12 månader.

En utmaning som uppstått är relaterat specifikt till verksamhetskoden som visat sig vara allt för omfattande då man endast kan pröva avskiljningen på Hedensbyn och den inte är beroende av om koldioxiden skall återvinnas eller lagras geologiskt.

2. Bygglov

Bygglov behövs för själva anläggningen, och då bygglov enligt gängse förfarande. Enligt uppgift från Skellefteå kommun påbörjas handläggning när samtliga handlingar kommit in. Från det datum ansökan är komplett ska ett beslut meddelas inom 10 veckor. Handläggningstiden kan förlängas med ytterligare 10 veckor i speciella fall, som till exempel om en utredning krävs eller om ärendet måste behandlas i bygg- och miljönämnden.

3.2.1.2 Transport

1. Transport av CO₂ i rör till Skellefteå hamn

Tillstånd enligt *Lagen om vissa rörledningar*, krävs om avståndet är större än 20 km. Preliminärt bedömdes avståndet mellan Hedensbyn och hamnen kunna vara mindre än 20 km. Dragning av rörledning omfattas då istället av proceduren 12:6-samråd vilket sker med Länsstyrelsen. Underlaget till 12:6 samråd påminner i mycket om det som behövs för miljötillstånd, men är givetvis fokuserat på sträckningen för rörledningen. Om rörledningen kan följa en befintlig sträckning av befintlig ledning och/eller annan infrastruktur förenklas processen avsevärt. Preliminär bedömning för handläggning uppskattades till cirka 4-6 mån.

2. Transport av CO₂ i lastbil/tåg till Skellefteå hamn

Inget särskilt tillstånd bedömdes krävas för Skellefteå Kraft om transport av CO₂ skulle ske med bil eller tåg.

3. Transport av CO₂ i tåg till Narvik eller annan utlastningspunkt än Skellefteå hamn

Inget särskilt tillstånd bedömdes krävas för Skellefteå Kraft.

3.2.1.3 Skellefteå hamn

Den eventuella komplettering av hamnen som krävs avseende utlastning och lagermöjlighet bedömdes troligen kräva en ändring av hamnens tillstånd. Detta är starkt relaterat till vilken verksamhet och del av kedjan som placeras i hamnen samt aktuella volymer. Eventuella rörledningar under vattnet hade också inneburit behov av tillstånd för vattenverksamhet enligt 11 kap. miljöbalken.

Tiden för förfarandet i hamnen ansågs som svårbedömt när utredningen initialt gjordes eftersom flera val kring teknik och koncept kvarstod, men uppskattades till att mycket preliminärt kunna innebära 6-12 månader.

3.2.2 Sammanfattning av genomfört tillståndsförfarande

I projektet har ingått att utarbeta en tillståndsansökan och att genomföra en tillståndprocess. Ansökan delas upp i tre delar där varje del ansöks och handläggs separat. Det är (1) avskiljning och komprimering av koldioxid vid Hedensbyns kraftvärmeverk, (2) transport av koldioxid i rörledning samt (3) komprimering och lagring av koldioxid inför vidare transport per båt. Ansökans omfattning och avgränsning diskuterades under samråd med Länsstyrelsen i Västerbottens län. Se bilaga J för det samrådsunderlag som Skellefteå Kraft gick ut med hösten 2022.

3.2.2.1 Avskiljning och komprimering vid Hedensbyns kraftvärmeverk

Ansökan har utformats som ett så kallat ändringstillstånd vilket innebär att bolaget inte yrkar någon förändring av gällande tillstånd utan att, i tillägg till gällande tillstånd, få en möjlighet att avskilja och komprimera koldioxid.

Anläggningarna för avskiljning och komprimering av koldioxid kommer inte alltid kunna vara i drift. Rökgaserna måste bland annat ledas förbi avskiljningen vid uppstart och stopp av panna, när eventuellt mellanlager inte har kapacitet att ta

emot den avskilda koldioxiden eller under de delar av året som pannan inte är i drift. Det har därför varit av stor vikt att det sökta tillståndet endast omfattar en *möjlighet*, och inte en skyldighet, att avskilja och komprimera koldioxid.

Den verksamhetskod som befunnits vara aktuell för den ansökta verksamheten är *90.500-i B d.v.s. avskiljning av koldioxidströmmar för geologisk lagring av koldioxid från industriutsläppsverksamheter som beskrivs i 1 kap. 2 § industriutsläppsförordningen*.

Efterföljande transport, förvätskning, mellanlagring och slutligen permanent geologisk lagring av koldioxid kan enligt bolaget bedömas vara s.k. följdverksamheter som prövas i särskild ordning. Avskiljning och komprimering av koldioxid vid Hedensbyns kraftvärmeverk kan dock inte påbörjas förrän alla steg i processen kan genomföras eller om en annan verksamhetskod används för att möjliggöra återvinning av CO₂ i värdekedjan.

Samtliga remissmyndigheter har tillstyrkt ansökan. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap anser att även transport per rörledning och förvätskning bör innefattas i prövningskoden 90.500-i vilket bolaget har motsatt sig.

Ansökans utformning och förhållande till graden av befintligt tekniskt underlag

Den tekniska beskrivningen vilken ligger till grund för miljökonsekvensbeskrivningen har utgått från den information som tagits fram i AP1. Då utformningen i flera delar har varit obeslutad och föremål för vidare utredning har den tekniska beskrivningen i vissa fall behövt hållas mer öppen vad avser teknikval än vid en ansökan om tillstånd som rör en mer mogen teknik och/eller verksamhet.

Denna möjlighet finns det dock utrymme för i miljöbalken. Anläggningens tekniska utformning ska ligga till grund för miljöbedömningen varför tekniska alternativ är möjliga så länge de är miljömässigt likvärdiga, något som kontinuerligt har behövt fastställas inom arbetet med att utarbeta ansökan.

Ärendets handläggning

Ansökan gavs in till Miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen i Västerbottens län 2023-03-01 (Diarienummer 2230-2023).

I sin in helhet består ansökan av följande dokument:

- Ansökan om ändringstillstånd
- Teknisk beskrivning
 - Redovisning av hur verksamheten förhåller sig till BAT-slutsatser
- Miljökonsekvensbeskrivning
 - Redogörelse för genomförda samråd

- Redogörelse för befintlig detaljplan
 - Luftkvalitetsutredning
 - Dagvattenutredning
 - Statusrapport för mark och vatten
 - Bullerutredning
 - Klassificering av ämnesblandningen i kolonnen för att bedöma om dessa medför att verksamheten omfattas av Sevesolagstiftningen
 - Riskutredning
- Gällande tillstånd och beslut
 - Villkor

Ansökan kompletterades 2023-06-30 efter önskemål från Bygg- och miljönämnden i Skellefteå kommun och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Ansökan kungjordes 2023-08-17 och skickades därmed på remiss. Per dags dato har Miljöprövningsdelegationen inte fattat beslut i ärendet.

3.2.2.2 Rörledning för transport av kondenserad koldioxid

Ingen ansökan eller anmälan har ännu gjorts för rörledning för transport av kondenserad koldioxid. Bolaget konstaterar dock att rörledningen inte uppfyller kriterierna för koncession i lag (1978:160) om vissa rörledningar. Rörledningen avses därför istället hanteras genom ett så kallat 12:6-samråd efter att sträckan har förankrats med mark och exploateringskontoret.

3.2.2.3 Kondensering och lagring av koldioxid vid Näsudden i Skelleftehamn

Lagring av avskild koldioxid saknar specifik provningskod i miljöprövningsförordningen. Dock är koldioxid som ska långtidslagras per definition ett avfall varför bolaget valde att anmäla verksamheten som *90.40C – lagring av icke-farligt avfall som en del av att samla in det, om mängden avfall vid något tillfälle är*

- 1. mer än 10 ton men högst 30 000 ton och avfallet ska användas för byggnads- eller anläggningsändamål, eller*
- 2. mer än 10 ton men högst 10 000 ton annat icke-farligt avfall i andra fall.*

Anmälan utgjordes i sin helhet av:

- Anmälningsblankett
- Konceptuell layout över anläggningsområdet
- Teknisk beskrivning
- Riskutredning

Anmälan ingavs till Bygg- och miljönämnden i Skellefteå kommun 2023-03-31 (Ärendenummer #270613). 2023-08-31 förbjöd Bygg- och miljönämnden

verksamheten såvida inte tillstånd söks och beviljas för verksamheten, alternativt att förvätskning och efterföljande lagring ska betraktas som följdverksamheter till den tillståndspliktiga verksamheten vid kraftvärmeverket.

Som motivering till beslutet angavs att nämnden anser att verksamheten med förvätskning och lagring medför större risker än andra verksamheter som är anmälningspliktiga. Verksamheter som medför större risker för miljön eller för människors hälsa är vanligtvis tillståndspliktiga och det rimliga vore därför att även dessa delmoment ska betraktas som tillståndspliktiga.

Bolaget delar inte denna bedömning och beslutet överklagades till Länsstyrelsen 2023-09-21. Som motivering till överklagandet angav bolaget i korthet att den anmälda verksamheten som utgångspunkt inte medför större risker än ett antal andra anmälningspliktiga verksamheter och att stöd för detta återfinns i miljöprövningsförordningen. Som exempel kan nämnas 20 kap. 2 § miljöprövningsförordningen som anger anmälningsplikt C för bland annat lagring av mer än 5 000 ton och maximalt 50 000 ton gasformiga eller flytande petrokemiska produkter, oljor, petroleumprodukter eller brännbara gaser. Tillståndsplikt B råder först vid lagring av mer än 50 000 ton av nämnda ämnen enligt 20 kap. 1 § samma förordning.

Länsstyrelsen har per dags dato inte beslutat i frågan.

3.3 AP3: Övriga utredningar och analyser

3.3.1 Mark och miljö

Port of Skellefteå skall byggas ut och enligt den nya detaljplanen kommer ett större industriområde etableras tillsammans med hamnen. CO₂ skulle kunna bidra med en signifikant godsmängd för hamnen och diskussioner pågår om vilken roll hamnen som står under kommunal förvaltning har att spela.

För den rörledning för CO₂ som planeras för den 13km långa sträckan från kraftvärmeverket till Port of Skellefteå pågår diskussioner fortfarande med Mark och exploateringskontoret om en lämplig dragning av ledningen. Flera förslag har utretts och principlösningar för genomförandet har tagits fram.

Inventeringar har genomförts för att identifiera biotoper och skyddsvärda arter som skulle kunna påverkas längs sträckan för rörledningen.

3.3.2 Kommersiella delar

3.3.2.1 Kalkylmodellering & intäktsmodellering

Skellefteå Kraft interna verktyg har använts för affärsmodellering och investeringskalkyler och resultatet är positivt även om kostnaden för infångning och slutförvaring bedöms bli relativt hög pga läget i norra Sverige. Affärsmodelleringen har tagit hänsyn till prognoserna för stadens expansion samt möjliga restvärmeströmmar från industrin.

Utifrån nu kända fakta bedöms infångning och återvinning eller slutförvaring av CO₂ kunna bidra med ytterligare intäktströmmar för att fullt ut nyttja värdet i biomassan som används för att producera el och värme. Vi har även tagit höjd för fortsatta ökningar i kostnaden för bränslet då skogsägare och sågverk också förväntas vilja ta del av värdet i de gröna kolatomerna när t.ex. omställning sker mot produktion av förnybara bränslen från skogsråvara.

Investeringen har bedömts på kommersiella grunder även om man kan anta att ingen panna kommer tillåtas att byggas i Europa efter 2045 utan CO₂-infångning liksom vi ställer krav på stoft, SO_x, NO_x osv idag.

3.3.2.2 Intäktströmmar: frivillighetsmarknaden, omvänd auktion och CCU

Driftstödsystem med omvänd auktion

När projektet inleddes hade Energimyndighetens redovisning av föreslaget driftstödsystem nyligen publicerats.⁴ Sedan dess har arbetet och utvecklingen med att ta fram stödsystemet följts, för att förstå Skellefteå Krafts möjlighet till att söka stödet och hur detta kan fungera. I och med stödsystemet kan tidigare ekonomiska hinder för utveckling av bio-CCS i Sverige delvis undanröjas och förhoppning finns att detta ska stimulera en tillväxt av bio-CCS som marknad.

Förslaget innebär att stödsystemet förordas att införas med omvända auktioner. I ett sådant system lämnar aktörer bud utifrån den stödnivå som de är beredda att delta för. Förutsatt att krav för deltagande uppfylls, innebär en omvänd auktion i stora drag att de aktörer som lagt lägsta bud per ton avskild och slutlagrad biogen koldioxid vinner stödet. Enligt Energimyndigheten kan omvända auktioner, rätt utformat, hålla nere statens kostnader och minimera överkompensation. Stödnivån som respektive aktör erhåller, baseras på dennes bud för per ton avskild och geologiskt lagrad biogen koldioxid, inkluderat transport- och lagringskostnader. 15 år föreslås som stödperiod.⁵

I vägvalsutredningen ansätts ett initialt mål om 2 miljoner ton CO₂ för de omvända auktionerna, motsvarande cirka 3–5 anläggningar enligt uppskattning, vilket rekommenderas ske med två eller flera omvända auktioner.⁶ I sin slutredovisning skriver Energimyndigheten att de inte har några invändningar till denna målnivå, men att den faktiska målnivån kommer bero på hur kostnaderna för bio-CCS värdekedjorna förhåller sig till avsatt budget för stödsystemet.⁷ När dåvarande regering under hösten 2021 presenterade förslag för avsatt budget för driftstödet fick detta kritik av flera aktörer som påbörjat satsningar gällande bio-CCS. Flera menade på att den budget som avsatts endast skulle räckta till små utsläpp varför större anläggningar då skulle stängas ute från förfarandet. Den skulle inte heller räckta för att nå de målnivåer som tillsatts.⁸ Budgeten för stödet

⁴ Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*.

⁵ Ibid.

⁶ SOU 2020:4 *Vägen till en klimatpositiv framtid*.

⁷ Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*.

⁸ Johan Wickström, ”Stödet till bio-CCS behöver vara betydligt högre”, *Tidningen Energi*, 10 september, 2021, <https://www.energi.se/artiklar/2021/september-2021/stodet-till-bio-ccs-maste-vara-betydligt-hogre/>

har därefter höjts vilket öppnar för större volymer^{9 10 11}, även om, som tidigare lyfts, styrande för de faktiska volymerna som uppnås är de faktiska kostnaderna för infångad och slutlagrad koldioxid. De i nuläget betydande osäkerheterna kring faktiska kostnader för hela bio-CCS värdekedjor ger även att Energimyndigheten bedömer det som svårt att bedöma vilka stödnivåer som faktiskt behövs.¹²

Inom projektet har man initialt bedömt att det kommer bli svårt för mindre aktörer att kunna ges stöd i de omvända auktionerna, då volym koldioxid har en stark inverkan på förväntad kostnad per infångad och slutlagrad ton koldioxid. Tidig analys gav att stödnivån behöver vara betydligt högre för en mindre anläggning jämfört med en större och att förhållandet inte skulle vara linjärt. Det har resonerats som så att de som rimligtvis bör kunna ge attraktiva bud är de stora utsläpparna inom massa- och pappersindustrin eller väldigt stora kraftvärmeverk. Samtidigt har man i projektet kunnat se att det inte är nödvändigtvis alla av de med stor potential till låga kostnader, som ligger längst fram i utvecklingen på den svenska marknaden. För mindre spelare ger detta tillsammans med en osäkerhet kring hur stor volym som budgeten faktiskt kommer räcka till, att möjligheten till att kunna ges stöd ökar. I sin slutredovisning pekar även Energimyndigheten på att det finns en viss osäkerhet gällande hur många aktörer som kan vara med i en första omvänd auktion och hur mognadsgraden ser ut för olika pågående bio-CCS projekt. Möjligheten till att hålla kostnadseffektiva och konkurrenskraftiga auktioner blir delvis påverkat av hur långt aktörer kommer i sina planer.¹³ I projektet har Skellefteå Kraft kunnat se att det finns osäkerheter kring kostnader, där marknadsens omognad skapar dels svårigheter i att bedöma kostnader, men också svårigheter i att optimera kostnadsbilden initialt. Projektet tror att tids nog, när marknaden mognat och fler aktörer kommit längre fram i sin utveckling, så kommer kostnadsestimat kunna bli mer precisa och det kommer även finnas möjlighet till att kostnadseffektivisera delar utav värdekedjan, exempelvis via delad transport av koldioxid. Initialt tror dock projektet att många aktörer kommer ha svårt att ta fram kvalificerade bindande bud. Kravbilden för deltagande i en omvänd auktion kommer påverka om och när aktörer kan vara med. Skellefteå Kraft har själva sett vissa av de svårigheter som Energimyndigheten pekat ut som osäkerheter som minskar aktörers möjligheter att delta i en första omvänd auktion. Energimyndigheten menar på att det finns en betydande osäkerhet avseende miljötillstånd, som har en stor inverkan på en aktörs tidplan.¹⁴ Beroende på om ändringstillstånd eller nya anläggningstillstånd behövs, kan det skilja år i ett

⁹ Ann-Sofie Borglund, ”Så kan Sverige ta taten inom bio-CCS”, *Tidningen Energi*, 28 februari, 2022, <https://www.energi.se/artiklar/2022/februari-2022/sa-kan-sverige-ta-taten-inom-bio-ccs/>

¹⁰ Regeringskansliet, ”Stor satsning görs på infångning av biogen koldioxid”, *Regeringskansliet*, hämtad 9 oktober, 2023, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/11/stor-satsning-gors-pa-infangning-av-biogen-koldioxid/>

¹¹ Johan Wickström, ”Så satsar regeringen på energi och klimat i budgeten”, *Tidningen Energi*, 20 september, 2023, <https://www.energi.se/artiklar/2023/september-2023/sa-satsar-regeringen-pa-energi-och-klimat-i-budgeten/>

¹² Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*.

¹³ Ibid.

¹⁴ Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*.

miljö tillståndsförfarande. Projektet tror att flexibilitet i kraven för kvalificering i den första omvända auktionen kommer vara starkt styrande för hur konkurrensen och kostnadseffektiviteten blir.

I Energimyndighetens förslag, antas första auktionen genomföras år 2022, med tilldelning 2023, och att inlagring kan ske år 2026. Det poängteras dock att tidplanen riskerar vara allt för ambitiös då stödsystem tar tid att implementera, vilket visat sig stämma. Vid rapportskrivandet, i slutet av 2023, är det fortsatt osäkert när en första auktion kan öppnas, då en statsstödsprövning fortfarande behöver genomföras. Strax innan sommaren meddelade Energimyndigheten att stödsystemet gått in i en pre-notifieringsfas. Energimyndigheten uppskattar att en omvänd auktion kan tillkännas cirka ett halvår efter att EU-kommissionen meddelat sitt beslut i statsstödsprövningen.¹⁵ Då utvecklingen av bio-CCS medför både stora investeringar och långa ledtider, inom exempelvis tillståndsförfarandet och för själva utvecklingen inför driftstart, skapas en osäkerhet i det att auktionen skjuts upp på. Det för med sig svårigheter i att planera framåt och förstå vilka förutsättningar som kommer att gälla.

Frivillighetsmarknaden och försäljning av negativa utsläpp

Parallellt med att projektet har följt utvecklingen gällande de omvända auktionerna, har en ansats gjorts för att förstå möjligheten till att finansiera en bio-CCS satsning delvis eller helt utan stöd från staten, med försäljning på den så kallade frivillighetsmarknaden. Projektet har kunnat se att det finns ett stort intresse för försäljning av minusutsläppsrätter (eng: carbon removal credits) på frivillighetsmarknaden. Minusutsläppstekniker eller kolavskiljningsmetoder (eng: carbon removal technologies) och en robust marknad för minusutsläppsrätter anses av många vara ett viktigt sätt att begränsa den globala uppvärmningen.

Efterfrågan på negativa utsläpp syns både på frivillighetsmarknaden och på ”icke-frivilliga” marknader, där frivillighetsmarknaden kan sägas återspegla efterfrågan som finns från de företag som gjort frivilliga Net-Zero-löften. Efterfrågan på icke-frivilliga marknader kan i stället beskrivas bestå av efterfrågan som uppstår inom obligatoriska (eng: compliance) system för koldioxidminskning, direkta statliga upphandlingsinitiativ och direkta mandat för avlägsnande av koldioxid.¹⁶

En nyligen publicerad analys från BCG uppskattar den årliga efterfrågan av hållbara minusutsläpp, CDR (eng: Carbon dioxide removal), från frivillighetsmarknaden och de ”icke-frivilliga”, till att vara mellan cirka 40–200 miljoner ton CO₂ år 2030. Detta bedöms att med stor sannolikhet vida överträffa det väntade utbudet, som beräknas till att vara mellan cirka 15–32 miljoner ton CO₂. Prognosen baserar efterfrågan på angivna köparpreferenser tillsammans med förväntad policy under de kommande 10–20 åren, och är alltså inte knuten till

¹⁵ Energimyndigheten, ”Statligt stöd för bio-CCS”, *Energimyndigheten*, hämtad 9 oktober, 2023, <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/>.

¹⁶ Karan Mistry, Bahar Carroll, Thomas Baker, Paulina Ponce de Leon, Alex Dewar och Amy Sims. *The Time for Carbon Removal Has Come*. BCG, 2023. <https://web-assets.bcg.com/44/75/58c3126c4050b74ae75b037e9434/bcg-the-time-for-carbon-removal-has-come-sep-2023.pdf> (Hämtad 2023-10-09).

några specifika klimatmål. Värt att nämna är att dessa uppskattningar är beräknade för efterfrågan och utbud inom USA, Europa, Latinamerika, Asien och Stillahavsområdet, men exkluderat Kina och Indien. Enligt rapporten kommer frivillighetsmarknaden att på kort sikt stå för merparten av efterfrågan, cirka 90 %, och då framför allt komma från branscher med hög betalningsvilja, exempelvis inom professionella tjänster och mjukvara. Samtidigt så innebär uppskattad efterfrågan att de volymer som hade krävts för att företag ska kunna nå sina Net Zero-löften (med kompletterande åtgärder som motsvarar cirka 10 % av deras utsläpp) inte nås. Totalt sett är uppskattad efterfrågan även långt ifrån IPPC:s uppskattade behov om negativa utsläpp på 5–16 gigaton CO₂ per år.¹⁷

Bio-CCS är en av flera minusutsläppstekniker som samsas på frivillighetsmarknaden. Andra vanliga metoder som projektet har sett att det också pratas om är exempelvis kolbindning i marken, återställande av livsmiljöer, återplantering/skogsplantering, biokol, kolnegativ betong, biomaterial, förbättrad vittring (eng: enhanced weathering) och DACCS eller DAC (Direct Air Capture with Carbon Storage). Bland dessa metoder skiljer sig den så kallade varaktigheten (eng: durability) åt, det vill säga från icke-permanent till permanent. Av dessa anses ofta bio-CCS tillsammans med DACCS ha högst attraktivitet bland de metoder som finns.¹⁸ Figur 10 visar ett urval av minusutsläppsmetoder tillsammans med uppskattningar gällande additionalitet, varaktighet/permanens och potential för kostnadsreduktion för respektive metod.

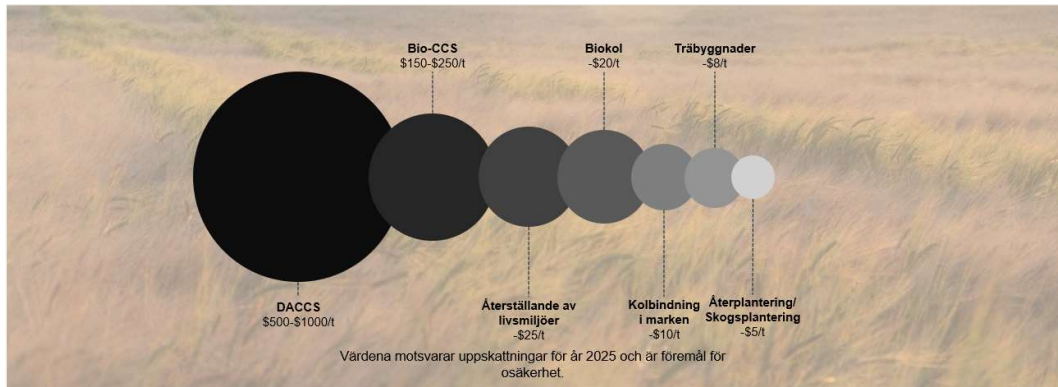
Metod	Additionalitet	Varaktighet	Potential för kostnadsreduktion
Kolbindning i marken	LÅG	LÅG	LÅG
Återställande av livsmiljöer	MEDIUM	LÅG	LÅG
Återplantering/ Skogsplantering	MEDIUM	MEDIUM	LÅG
Träbyggnader	LÅG	MEDIUM	LÅG
Kolnegativ betong	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM
Biokol	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM
Förbättrad vittring	MEDIUM	HÖG	MEDIUM
Bio-CCS	MEDIUM	HÖG	HÖG
DACCS	HÖG	HÖG	HÖG

¹⁷ Mistry et al. *The Time for Carbon Removal Has Come*.

¹⁸ Enligt uppskattningar från konsulter på PA Consulting.

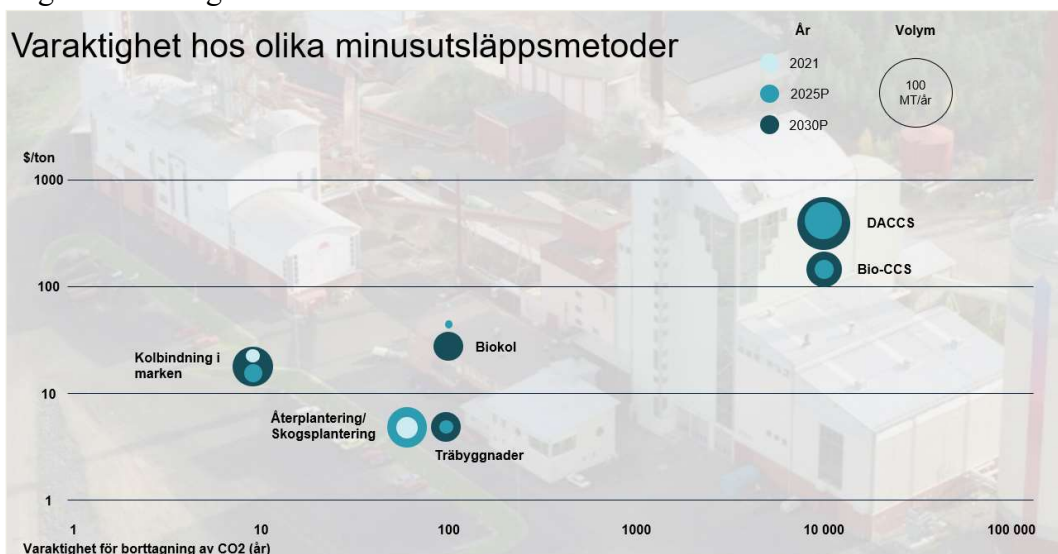
Figur 10. Uppskattningar av additionalitet, varaktighet/permanens och potential för kostnadsreduktion hos olika minusutsläppsmetoder.¹⁹

Kostnaden för olika kolavskiljningsmetoder skiljer sig åt. Prissättningen kan ge en indikation av hur effektfulla, hur permanenta, de olika metoderna är. En indikativ kostnadsuppskattning gjord av PA Consulting visas i Figur 11.



Figur 11. Indikativ kostnad för olika minusutsläppsmetoder.

En metods varaktighet/permanens blir ett viktigt mått för att utvärdera effekterna för olika minusutsläppsmetoder. En metods varaktighet tycks generellt korrelera med kostnaden för metoden, där högre varaktighet ger en högre kostnad. I figur X uppskattas varaktigheten hos olika metoder i korrelation med pris och volym under olika tidsperioder. Datan ska ses som indikativ. Grafen justeras från en original AFRY-graf



Figur 12. Varaktighet hos olika minusutsläppsmetoder.²⁰

På frivillighetsmarknaden syns att köpare hittills väljer koldioxidkrediter utifrån kvalitet, vilket kan innefatta flera aspekter. Vanligt är att definiera kvalité som

¹⁹ Enligt uppskattningar från konsulter på PA Consulting.

²⁰ Enligt uppskattning från konsulter på PA Consulting. Grafen är justerad och uppdaterad baserat på en ursprunglig AFRY-graf.

permanensen för minusutsläppet och MRV. MRV innebär i detta hur enkelt det är att övervaka, rapportera och verifiera minusutsläppen (eng: monitoring, reporting and verifiability). Additionalitet är ofta en viktig aspekt likaså.²¹

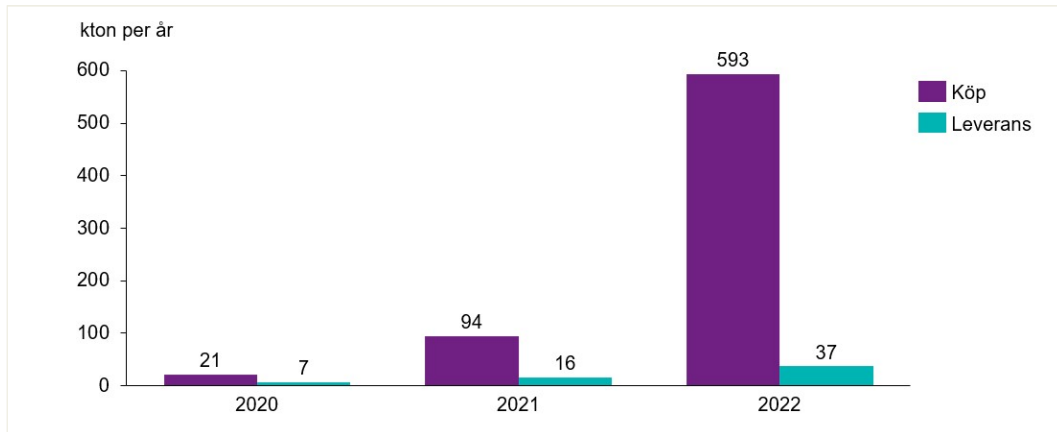
I projektet har en ansats gjorts för att förstå hur negativa utsläpp säljs och var. Flera marknadsplatser har setts över, exempelvis Puro.earth, Supercritical, Carbonfuture och dylikt. Det har blivit tydligt att det hittills inte direkt finns någon standard för hur negativa utsläpp säljs eller redovisas. Projektet har upplevt det som svårt att få en översyn av hur mycket som säljs och till vilket pris, det vill säga marknaden är inte helt transparent eller standardmässig än. På flera marknadsplatser säljs ofta negativa utsläpp från bio-CCS tillsammans med negativa utsläpp från biokol eller dylikt. Sett till endast pris blir konkurrensen för bio-CCS i relation till vissa av de projekt som marknadsförs därför snedvriden. Det blir då upp till respektive köpare att skapa sig en förståelse för respektive projekts kvalitet och varaktighet gällande negativa utsläpp. Översynen har även visat att direkta bilaterala affärer är vanligt, där ingen specifik marknadsplats används. Det finns även vissa bolag som kan agera mellanhand och i stället för att använda marknadsplatser agerar säljare och letar upp intressenter för projektet. Skellefteå Kraft har själva kontaktat en mindre mängd bolag för att få en bild av intresset för köp av negativa utsläpp, men projektet märkte tidigt att det krävs stora insatser för att förse sådana typer av dialoger.

Projektet genomförde en översikt av frivillighetsmarknaden baserat på data för åren 2020–2022 från CDR.fyi, som säger sig följa köp och leveranser av permanenta negativa utsläpp, vilka de definierar som teknologier med en varaktighet på 100+ år.²² Projektet har inte tittat på data för år 2023, men förväntar sig att ökning har skett både i köp och leverans av negativa utsläpp.

CDR.fyi tar sin data från offentligt publicerad information men även via sina egna privata kanaler. Eftersom marknaden är helt oreglerad så är det ofrånkomligt att olika köp eller affärer missas, men data ger ändå en indikation på hur marknaden utvecklas. Marknaden år 2022 värderades till \$226 miljoner av CDR.fyi. Figur 13 visar hur både köp och leverans av negativa utsläpp har ökat. Marknaden för köp ökade exempelvis med över +500% mellan år 2021 och 2022.

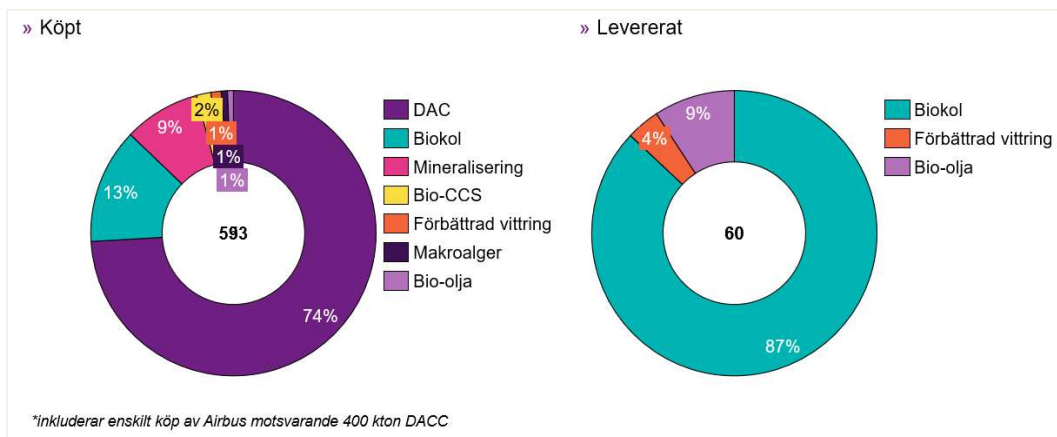
²¹ Mistry et al. *The Time for Carbon Removal Has Come*.

²² CDR.fyi, *CDR.fyi 2022 Year in Review*, CDR.fyi, 2022. <https://medium.com/cdr-fyi/cdr-fyi-2022-year-in-review-d095acd9a1a0> (Hämtad 2023-10-10).



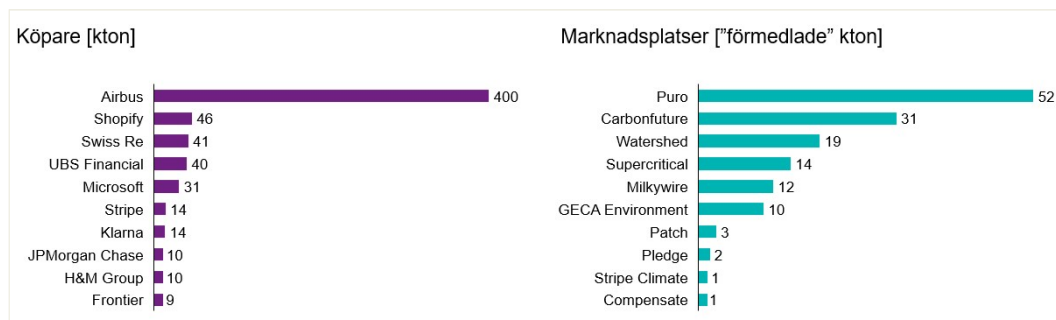
Figur 13. Köp och leverans av carbon removal 2020–2022.

Under år 2022 visar datan att köp av negativa utsläpp dominerades av DAC, biokol och mineralisering, se Figur 14. Samtidigt så domineras de levererade negativa utsläppen av biokol, förbättrad vittring samt bio-olja. För biokol köp uppskattas en leveranstid om cirka 5 månader medan resterande metoder kräver minst 30 månader.



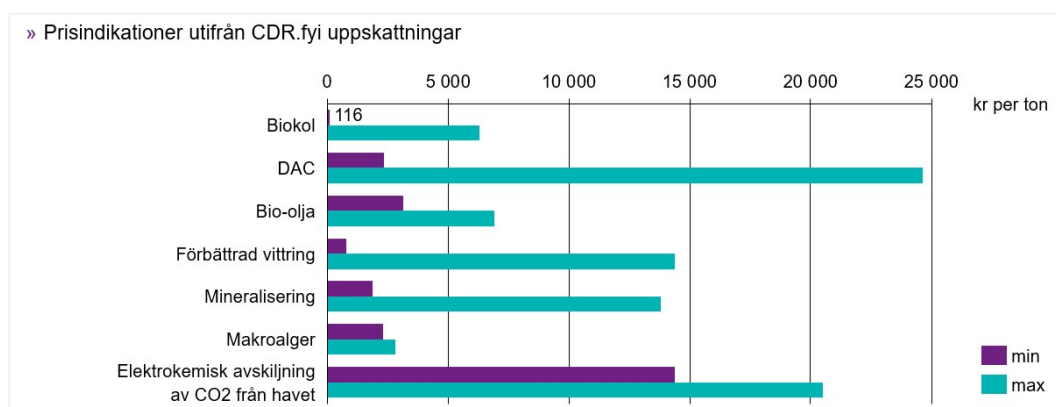
Figur 14. Köpt och levererat per teknologi år 2022.

CDR.fyi har identifierat 755 köp varav 379 av dessa var under 2022. I deras data framgår det att 115 olika företag har köpt negativa utsläpp varav 86 stycken handlade under 2022. Enbart 23 köpare har köpt med år 1 kton totalt. I detta har CDR.fyi har identifierat 41 olika marknadsplatser för köp av högkvalitativa negativa utsläpp. Figur 15 nedan visar de köpare som gjort större inköp av negativa utsläpp och fördelningen av förmedlade negativa utsläpp på marknadsplatser under år 2022.



Figur 15. Köpare av carbon removal och marknadsplatser år 2022.

Sammanställda data visar på stora skillnader i pris, se Figur 16. Detta indikerar en mycket omogen marknad, men även att köpare inte enbart tänker på pris när de gör sina inköp. Detta är i linje med det som BCG indikerar i tidigare nämnda rapport, det vill säga att köpare på frivillighetsmarknaden hittills väljer koldioxidkrediter utifrån kvalitet.²³



Figur 16. Prisindikationer kr per ton för negativa utsläpp.

Projektet har haft översyn på hur frivillighetsmarknaden har utvecklats i Sverige, för att förstå hur andra bolag resonerar och vilka potentiella köpare som finns. I den utveckling som Skellefteå Kraft har kunnat följa i Sverige finns viss försäljning av negativa utsläpp som inte är registrerad i data ovan. Exempelvis ingick Öresundskraft avtal om negativa utsläpp med olika aktörer under år 2022. Öresundskraft tecknade intentionsavtal om köp av negativa utsläppsverifikat med Catena och Wihlborgs om 5 000 ton per år respektive 10 000 ton per år.^{24 25} Under 2023 har även Stockholm Exergi offentliggjort att de ingått intentionsavtal med potentiella köpare av negativa utsläpp, däribland Akademiska Hus, AMF Fastigheter och Heba Fastighets AB. Stockholm Exergi har inför detta startat upp

²³ Mistry et al. *The Time for Carbon Removal Has Come*.

²⁴ Öresundskraft, ”Catena och Öresundskraft i avtal om negativa utsläpp”, *Öresundskraft*, hämtad 10 oktober, 2023, <https://www.oresundskraft.se/blogg/catena-och-oresundskraft-i-avtal-om-negativa-utslapp/>.

²⁵ Anette Wennberg, ”Öresundskraft och Wihlborgs i avtal om negativa utsläpp”, *Dagens Fastigheter*, 3 november, 2022, <https://www.dagensfastigheter.se/2022/11/03/10100/oresundskraft-och-wihlborgs-i-avtal-om-negativa-utslapp>

ett program riktat till fjärrvärmekunder som vill köpa över 1 000 ton minusutsläpp per år över tio år.²⁶ Intressant att notera är att samtliga av dessa aktörer som Öresundskraft och Stockholm Exergis har ingått intentionsavtal med tillhör fastighetsbranschen, vilket ger en indikation av vilka aktörer som åtminstone initialt kan ha intresse av en frivillighetsmarknad i Sverige.

En ytterst viktig fråga gällande frivillighetsmarknad är hur denna förhåller sig till de omvända auktionerna, där den centrala frågan som uppdragets är vem som faktiskt äger rätten till de negativa utsläppen som skapas med bio-CCS i slutändan. Energimyndigheten redovisade under tidigt 2023 ett förslag på hur bokföring och rapportering ska ske av negativa utsläpp som åstadkoms genom bio-CCS samt hur frivillighetsmarknaden för negativa utsläpp ska hanteras inom ramen för driftstödssystemet.²⁷ I rapporten konstateras att det i nuläget råder stor osäkerhet om var negativa utsläpp genom bio-CCS kan och bör rapporteras, men att arbete pågår internationellt för att få detta på plats. I likhet med detta skriver Naturvårdsverket i sin redovisning för regeringsuppdraget ”Kompletterande åtgärder enligt det klimatpolitiska ramverket”, att överenskommen lagstiftning på EU-nivå inte förefaller vara anpassad för att medlemsländer till år 2030 ska kunna tillgodogöra sig negativa utsläpp från bio-CCS för måluppfyllelse av sina EU-mål.²⁸ Naturvårdsverket efterfrågar tydlighet och menar på att det behövs förändringar i lagstiftning eller åtminstone tydligare vägledning om hur lagstiftning ska tolkas. Det belyses hur det inom EU:s reviderade 2030-ramverk inte finns någon plats utpekad för bokföring av bio-CCS inom varken ansvarsfördelningsförordningen (ESR), LULUCF-förordningen och utsläppshandelsdirektivet (ETS).

I Energimyndighetens rapport bedömer de att negativa utsläpp som åstadkoms med bio-CCS mest lämpligt bör bokföras och rapporteras inom LULUCF-sektorn.²⁹ Vidare menar Energimyndigheten på att det bör vara tillåtet för bio-CCS-producenter att sälja negativa utsläpp på frivillighetsmarknaden. Dock framhåller Energimyndigheten att de negativa utsläpp som sker med hjälp av statligt stöd ska avräknas mot svenska klimatmål. Dubbel bokföring kommer ej att tillåtas. Detta betyder att köpare av de negativa utsläppen på frivillighetsmarknaden från projekt med delvis statligt stöd, genom sitt köp bidrar

²⁶ Stockholm Exergi, ”Stockholm Exergi lanserar unikt erbjudande med minusutsläpp – stort kundintresse direkt”, *Stockholm Exergi*, hämtad 10 oktober, 2023, <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/stockholm-exergi-lanserar-unikt-erbjudande-med-minusutslapp-stort-kundintresse-direkt/>.

²⁷ Energimyndigheten, *Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*, Energimyndigheten, 2023. <https://www.energimyndigheten.se/492ae9/globalassets/klimat--miljo/ccs/promemoria-bio-ccs-bokforing-och-rapportering-av-negativa-utslapp-samt-disposition-av-dessa.pdf> (Hämtad 2023-10-10).

²⁸ Naturvårdsverket, *Kompletterande åtgärder enligt det klimatpolitiska ramverket*, Naturvårdsverket, 2023. <https://www.naturvardsverket.se/493bd4/contentassets/72ca3395d21f434a9ba454676be8b612/redovisning-ru-kompletterande-atgarder-enligt-klimatpolitiska-ramverket.pdf> (Hämtad 2023-10-11).

²⁹ Energimyndigheten, *Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*.

till att Sverige uppnår sina klimatmål och åtaganden enligt Parisavtalet. Köpare kommer alltså inte kunna göra anspråk på dessa negativa utsläpp för att kompensera sina egna utsläpp, utan detta hade gett upphov till dubbla anspråk. Samtidigt så skriver Energimyndigheten att eventuell intäkt från en försäljning av negativa utsläpp skulle innebära att statsstödet minskas i motsvarande omfattning. För att möjliggöra försäljning föreslår Energimyndigheten att negativa utsläpp säljs som ”Mitigation Contribution 6.4 Emission Reductions”. Enheten hade inneburit att en eventuell köpare endast kan göra anspråk på att ha bidragit till ett säljarlands klimatåtagande under Parisavtalet.

Det förslag som Energimyndigheten tagit fram, väckte en del uppmärksamhet när det publicerades. Bland de satsningar och projekt som görs i Sverige, menade flera att förslaget, som innebär att negativa utsläpp som genereras av bio-CCS med delvis statligt stöd, inte kommer kunna användas av köpare för att kompensera egna utsläpp, riskerar att underminera en marknadstillväxt.³⁰ I rapporten ”Bringing BECCS credits to voluntary carbon markets” menas att Energimyndighetens förslag riskerar att minska möjligheten till att framgångsrikt generera intäkter från frivillighetsmarknaden för bio-CCS.³¹ Även om Energimyndighetens förslag i teorin innebär att svenska statens utgifter för kompletterande åtgärder hade kunnat minska, förutsatt att försäljning sker av negativa utsläpp som tas i anspråk i svenska klimatmål, så förutspås sannolikheten för detta vara låg. I stället pekar rapporten på att intresset är låg bland köpare för negativa utsläpp som inte kan användas för kompensation för egna utsläpp och att incitamenten för bio-CCS-producenter att delta likväl är låg. Samtidigt så hade dubbla anspråk kunnat innebära att förtroendet för svenskt klimatarbete och stöd för bio-CCS påverkas negativt, vilket talar för det förslag som tagits fram.^{32 33}

Gällande negativa utsläpp med bio-CCS som inte får statligt stöd, är spelreglerna inte lika tydliga enligt projektet. Naturvårdsverket menar att negativa utsläpp från bio-CCS inom Sverige, bör tillräknas Sveriges bokföring av kompletterande åtgärder och därför avräknas mot de svenska klimatmålen, oavsett om finansiering skett med offentliga eller privata medel.³⁴ Vidare menar Naturvårdsverket att de negativa utsläpp från bio-CCS som inte används för avräkning mot de svenska målen vid målåren 2030, 2040 och 2045, bör kunna säljas till andra stater förutsatt att detta är tillåtet enligt EU:s regelverk. Samtidigt bedömer Naturvårdsverket att producenter av negativa utsläpp bör ges möjligheten att sälja dessa på en frivillighetsmarknad, vare sig de avräknas eller inte avräknas mot Sveriges klimatmål och oavsett om de nationella klimatmålen nås för målåren.

³⁰ Ann-Sofie Borglund, ”Omstritt förslag hotar försäljningen av negativa utsläpp”, *Tidningen Energi*, 27 juli, 2023, <https://www.energi.se/artiklar/2023/juni-2023/omstritt-forslag-hotar-forsaljningen-av-negativa-utslapp/>

³¹ Kenneth Möllersten, Lars Zetterberg och IVL Swedish Environmental Research Institute, *Bringing BECCS credits to voluntary carbon markets*, Sustainable Finance Lab, 2023. https://www.sustainablefinancelab.se/wp-content/uploads/sites/14/2023/08/Bringing-BECCS-credits-to-voluntary-carbon-markets_web.pdf (Hämtad 2023-10-11).

³² Borglund, ”Omstritt förslag hotar försäljningen av negativa utsläpp”.

³³ Naturvårdsverket, *Kompletterande åtgärder enligt det klimatpolitiska ramverket*.

³⁴ Ibid.

Naturvårdsverket lyfter själva att deras förslag hade kunnat riskera att innebära dubbla anspråk för samma negativa utsläpp. De poängterar därför att vidare utredning behövs för att klargöra hur detta ska regleras för negativa utsläpp som inte möjliggjorts med statligt stöd.

Projektet tolkar det därför som sådant att Naturvårdsverket menar på att negativa utsläpp genom bio-CCS bör tillfalla och avräknas de svenska klimatmålen, oberoende av finansieringssätt. Skövde Energi skriver i sin slutrapportering inom Industriklivet att Energimyndigheten menar på att alla negativa utsläpp med bio-CCS som genereras och finansieras med privata medel, bör tillgodoräknas svenska klimatmål tills det att Sveriges åtaganden under Parisavtalet har uppnåtts.³⁵ I teorin bör detta betyda att hade varit möjligt att göra anspråk på kompensation på en frivillighetsmarknad om det negativa utsläppet inte ingår i uppfyllandet av Sveriges klimatmål. Det vill säga, förutsatt att Sverige hade kunnat överprestera gällande mängden negativa utsläpp i förhållande till de klimatmål och målar som satts. För att undvika dubbla anspråk, och således bibehålla legitimitet och trovärdighet i ett sådant förfarande, hade detta dock behövts föranledas av en ”motsvarande justering” (eng: corresponding adjustment) i bokföringen av kompletterande åtgärder och säljarlandets utsläppsbalans.³⁶ Dock, EU-lagstiftning verkar i dagsläget inte tillåta medlemsstater att göra motsvarande justeringar i sin redovisning av växthusgaser.³⁷ Energimyndigheten skriver att Finska Regeringskansliet har kommit fram till att nuvarande EU-lagstiftning inte tillåter medlemsstater att överföra överskott av negativa utsläpp med motsvarande justering av säljarlandets utsläppsstatistik.³⁸ Energimyndigheten anser dock att en vidare analys av detta bör göras. Om motsvarande justeringar hade tillåtits, skulle svenska bio-CCS-producenter kunna bidra till negativa utsläppskrediter på en frivillighetsmarknad, förutsatt att Sverige överpresterat sett till sina klimatmål. Möllersten et al. menar på att detta hade kunnat bidra till en höjd global klimatambition.³⁹

Sammantaget ger detta att projektet anser det osäkert hur marknaden kommer utvecklas. Avsaknad av reglering på kort sikt ger minskade incitament för potentiella bio-CCS-producenter att våga satsa, eftersom spelreglerna är så pass osäkra i nuläget.

CCU

Under början av 2023 togs beslut om att göra ett internt tillägg till projektets omfattning för att även bedöma möjligheterna för återvinning av CO₂ regionalt.

Efterfrågan är stor på ”grön” biogen koldioxid för återvinning till hållbara bränslen, kemikalier eller andra produkter påverkas framförallt av tillgången på nätkapacitet, priset på förnybar elkraft och reglerna i olika EU regler och

³⁵ Skövde Energi, *Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS*, Energimyndigheten, 2023.

³⁶ Möllersten et al. *Bringing BECCS credits to voluntary carbon markets*.

³⁷ Ibid.

³⁸ Naturvårdsverket, *Kompletterande åtgärder enligt det klimatpolitiska ramverket*.

³⁹ Möllersten et al. *Bringing BECCS credits to voluntary carbon markets*.

delegated acts, som för REDIII och RFNBO. I elområde 1 i norra Sverige finns stor potential tack vare förnybar energi till låga priser och ett väl utbyggt elnät.

Efterfrågan och möjligheterna bekräftas av flera etableringar som har annonserats längs norrlandskusten i anslutning till andra stora utsläppare av biogen CO₂.

Fördelen med lokal återvinning istället för slutförvar är att fossila bränslen kan ersättas och fylla de kvoter av förnybart bränsle som krävs enligt kommande EU-direktiv som reglerar sjöfart och flyg. Regionalt skapas ny industri samt möjlighet till export av energi i form av förädlade produkter istället för el via stamnätet.

Med kreativ bokföring kan även utsläppen minska regionalt för att släppas ut igen på en annan plats vilket t.ex. kommuner kan använda i sin egen rapportering och alltså både äta kakan och ha den kvar. Ett exempel från Umeå kommun ser ut såhär: ”Koldioxid från el- och värmeproduktion vid Dåva kraftvärmeverk ska nyttjas som råvara i processen och bli bränsle för sjöfart. Det kan bli ett mycket viktigt bidrag för att nå klimatmålen i Umeå kommun, en minskning av Umeås totala koldioxidutsläpp med hela 40 procent.”⁴⁰. I sak ett riktigt påstående men ej att förväxla med CCS som skulle hjälpa planeten som Umeå kommun är verksam på att nå klimatmålen.

3.3.2.3 Konkurrensanalys

För projektet har det varit viktigt att hålla uppsyn av vad som händer på den svenska bio-CCUS marknaden. Flera projekt har varit i gång under perioden eller är fortsatt, och många aktörer har valt att aktivt kommunicera delar av sitt arbete. För Skellefteå Kraft har detta varit betydelsefull benchmarking för att se vad andra aktörer gör och hur de resonerar.

Skellefteå Kraft tog fram en Excel där anläggningar med biogena koldioxidutsläpp samlades. Utdrag gjordes från Naturvårdsverket för både anläggningar inom energisektorn och massa- och pappersindustrin. En ansats gjordes därefter för att bedöma aktörers dels förutsättningar dels intresse för bio-CCUS. En grov kostnadsbedömning gjordes samt en samlad bedömning gällande aktörens mognad och intresse för bio-CCS eller bio-CCU. Fyra faktorer var centrala i denna bedömning: volym (kton biogena utsläpp per år), avstånd till slutförvar, projektutveckling (vilka åtaganden som gjorts för bio-CCS eller liknande) samt finansiell styrka. Allt detta kartlades eller estimerades för respektive aktör. Detta innebar omfattande research för att initialt bedöma huruvida aktören offentligt har visat något typ av intresse för bio-CCS eller bio-CCUS generellt samt vad detta innefattat. Faktorerna viktades därefter och gav en indikativ kostnadsnivå för en aktörs eventuella satsning på bio-CCS och hur de låg till konkurrensmässigt mot andra aktörer. Det gjordes även grova estimat om när de hade kunnat vara aktuella för att delta i en omvänd auktion utifrån aktörers nuvarande status. Detta byggde framför allt på den kartläggning som gjorts av respektive aktörs kommunikation av eventuella projekt för bio-CCUS som gjorts.

40

<https://www.umea.se/byggaboochmiljo/nyhetsarkiv/arkivenergi/koldioxidfrandavakanbligrontrbran/sle.5.544b30ee185384bdfbe2e68f.html>

Även om analysen som verktyg är grov och delvis bygger på kvalitativ bedömning, så ger den flera intressanta insikter. I nuläget syns och kommuniceras flera satsningar för både bio-CCS och bio-CCU runt om i Sverige. Framför allt flera kraftvärmeverk har inlett studier för bio-CCS, men bio-CCU förekommer också. Kartläggningen indikerar dock att merparten av projekten är i en tidig fas. Utifrån vad som kan utläsas i offentlig kommunikation är direkta tillståndsansökningar eller FEED-studier är ovanligt, även om några få aktörer har inlett eller avslutat detta.

Analysen visar på att relativt få aktörer kommer ha möjlighet att ha en bio-CCS anläggning på plats innan 2028, likväl för bio-CCU. Inga av dessa bedöms vara pappersmassabruk. Generellt går det att se att kraftvärmeverk verkar ligga steget före. Av de förstudier eller genomförbarhetsstudier som Skellefteå Kraft vet om och som genomförts inom senaste åren, är merparten utförda för kraftvärmeverk eller avfallsförbränningsanläggningar, snarare än pappersmassabruk. Detta är delvis förvånande eftersom det är pappersmassabruken som indikeras ha högst potential för bio-CCS i Energimyndighetens redovisningen för driftstödet, eftersom dessa oftare har större punktutsläpp än kraftvärmeverk.⁴¹ Analysens grova bedömning av olika aktörers kostnadsnivå för bio-CCS indikerar fortsatt att det är pappersmassabruken som generellt sett bör kunna erhålla en mer fördelaktig kostnadsnivå, eftersom deras volymer av biogen koldioxid generellt sett är större än flera kraftvärmeverk. Antalet aktörer som bedöms kunna ha en anläggning på plats mellan 2028-2030, är betydligt fler än innan år 2028. Bland dessa är även majoriteten kraftvärmeverk eller avfallsförbränningsanläggningar, snarare än pappersmassabruk. En del av de anläggningar som beräknas kunna finnas på plats inom detta tidsspann är likväl anläggningar för bio-CCU snarare än bio-CCS. Givet kartläggningen som gjorts visar marknadens initiativ hittills att både bio-CCS och bio-CCU verkar vara intressant för aktörer, men att ingen tydlig linje finns ännu kring vad som är mest föredraget.

Analysen visar även att flera av de aktörer som i nuläget utför studier eller har gjort, äger flera anläggningar med biogena utsläpp. Ofta utförs studier för en enskild anläggning, men vid enstaka fall för fler. Detta betyder att det inom bolagen i fråga finns kunskap om bio-CCUS som kan appliceras på ytterligare verksamheter framgent. Det öppnar upp för uppskalning av bio-CCUS verksamheten och synergimöjligheter inom bolagen. Möjligheten till uppskalning av en bio-CCUS verksamhet till att omfatta ytterligare anläggningar beror dock självklart på mängden koldioxid som finns att tillgå på den ytterligare anläggningen, då det är tydligt att det finns en viss volymgräns för när det inte är ekonomiskt gångbart. Kartläggningen visar även att utsläppen hos dessa ytterligare anläggningar är varierande grad, både större och mindre.

3.3.2.4 Varumärkesperspektivet och kommunikation

Kommunikation av projektet genom olika kanaler, både internt och externt, har varit viktigt för att förstå omgivningens syn på bio-CCS. Genom detta har

⁴¹ Energimyndigheten, *Första, andra, tredje.... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*. Energimyndigheten redovisning ER 2021:31. (Eskilstuna: Energimyndigheten), 2021.

Skellefteå Kraft kunnat förstå andra parter åsikter och bygga intresse samt kunskap kring området även utanför själva projektet. Exempelvis har Skellefteå Kraft deltagit på flera konferenser kopplat till bio-CCUS. Skellefteå Kraft har även förekommit i lokaltidningen för en intervju om projektet, och i andra forum där projektet har uppmärksammats.^{42 43} Inför de tillståndprocesser som inletts har även kommunikation skett mot offentligheten och olika myndigheter i samband med samråd. I samband med detta etablerades även en Q&A på Skellefteå Krafts hemsida gällande vad bio-CCS är och vad Skellefteå Krafts projekt innebär.

En större utredning, se bilaga K, gjordes för att förstå olika gruppers åsikter om både bio-CCS och bio-CCU, och vad en eventuell satsning hade inneburit ur ett varumärkesperspektiv. Flera aktörers uttalanden och åsikter har samlats in och analysen utgick från fem perspektiv, nämligen media, miljöorganisationer, branschorganisationer, konkurrenter och forskning.

Analysen visar på att det inte finns någon samstämmighet kring huruvida eller vilken av teknikspåren som man som bolag bör satsa på. Det finns både direkta för- och nackdelar med respektive teknikinriktning, där många är gemensamma, eftersom inriktningarna i grunden är tekniskt densamma, och det som skiljer dem åt är hur koldioxiden hanteras i slutändan. Ur ett varumärkesperspektiv är det därför relativt svårt att prioritera mellan inriktningarna, eftersom deras förutsättningar och konsekvenser ofta är densamma. Det går även att se att mycket av kritiken mot båda teknikinriktningarna ligger inte tekniken per se, utan tidigare i värdekedjan, rörande själva förbränningen av biomassa. Det finns aktörer som motsätter sig användning av biobränslen och menar på att skogen ej bör användas som storskalig energikälla. Analysen visar dock på att det finns en skillnad på synen på biomassa beroende på om ett nationellt perspektiv och ett globalt perspektiv används. Sverige och svenska intressegrupper verkar generellt ha ett mer tillåtande synsätt på biomassaanvändning. Istället för att satsa på bio-CCS eller bio-CCU menar kritiska röster att det istället bör satsas på minskad förbränning och användning av biobränsle. Återkommande argument för detta är en oro om att biomassaanvändning ska öka i och med satsning på teknologierna och i detta inskränka på den biologiska mångfalden. Därtill menas det att skogen per se är en effektiv kolsänka varför ett minskat uttag av biomassa bör förordas. Klimatneutraliteten hos biomassa problematiseras även av vissa aktörer. Framför allt förs en diskussion om hur biomassa används bäst och till vilket syfte. Tankar tas upp om att avverkad skog och skogrester bör användas till något annat än vad de används till idag.

Sett till bevakningen av bio-CCS så är denna utbredd och tekniken relativt väldiskuterad. Åsikter och inställning till tekniken skiftar ofta beroende på kontext och skalan bio-CCS förväntas implementeras i. Problematisering av bio-CCS och diskussion av teknikens konsekvenser utöver klimatfrågan syns oftare i globala

⁴² Lars Andersson, "Skellefteå Kraft överväger ny miljardsatsning", *Norran*, 14 september, 2023, norran.se/bli-prenumerant/artikel/rxzddq8j/nv-bd-0kr-dp_week

⁴³ Bioenergitidningen, "Skellefteå Kraft satsar på koldioxidinfångning", *Bioenergitidningen*, hämtad 9 oktober, 2023, <https://bioenergitidningen.se/skelleftea-kraft-satsar-pa-koldioxidinfangning/>.

och internationella sammanhang, medan svensk bevakning generellt har en mindre ifrågasättande syn, vilket delvis kan tolkas vara färgat av det faktum att Sverige har en stark tradition av skogsnäring. Bio-CCS lyfts fram av flera som ett av flera viktiga verktyg för att nå klimatmålen och en bred konsensus finns inom många samhällsgrupper kring detta. Inom vissa grupper syns dock skepsis. Kritik finns mot att för mycket framtidstro sätts till tekniken. Det menas på att bio-CCS i stor skala kan komma i konflikt med andra hållbarhetsaspekter och att satsningar behöver ske i beaktning till detta. För de som är kritiska mot tekniken, är detta ofta är sammankopplat med biomassaanvändning och ett ifrågasättande av klimatneutralitet, men framför allt finns en oro att satsningar riskerar ta bort fokus från utsläppsminskningar. Sammanfattningsvis visar analysen på att det för bio-CCS finns både positiva och negativa åsikter. Samtidigt som kritik framförs, så finns en stark tilltro till tekniken och direkta satsningar görs på flera håll.

Sett till bio-CCU tycks bevakning inte finnas i samma utsträckning som för bio-CCS. Jämfört med både vätgas och traditionella biodrivmedel visar analysen att bevakning är större än för bio-CCU och elektrobränslen. Den kritiken eller oron som man kan se hos vissa grupper gällande bio-CCS verkar inte ha hittat till bio-CCU trots att det i grunden är samma teknik och rimligen borde mötas av liknande frågor. Även om bio-CCU inte nås av samma problematisering som bio-CCS, går åsikterna isär gällande bio-CCU och elektrobränslen. Vissa grupper är starkt positiva till teknikinriktningen, medan andra är kritiska. Kritik mot bio-CCU är ofta relaterat till uppfattningen av biobränsle som klimatneutralt och en oro att bio-CCU innebär att utsläppsminskningar bortprioriteras. Bland de positiva rösterna premieras bio-CCU och elektrobränslen som en viktig ersättning till fossila bränslen inom flera sektorer och flera stora satsningar som nu genomförs i Sverige visar på en tilltro till tekniken.

Sammanfattningsvis ger analysen att synen på teknikerna är delad. Det finns grupper som är både positiva och mindre. De som förordar bio-CCS trycker på det är ett av flera viktiga verktyg för att agera mot klimatkrisen, hur det är politiskt uppbackat och del av internationella och nationella mål samt kan skapa negativa utsläpp i redan hållbara värdekedjor. För bio-CCU lyfts hur tekniken kan möjliggöra ersättning till fossilt bränsle, bidra till lokala utsläppsminskningar och hur tekniken har en plats i det nya energisystemet. Oavsett gav analysen att det kommer bli allt viktigare ur ett kommunikationsperspektiv att fundera på varför man som aktör har gjort vissa val, och visa på transparens. Aktörer bör gynnas av att dela med sig av de resonemang som gjorts och reflektera över hur kommunikation lämpligast sker.

3.3.3 Slutförvar och transport

Arbetet har pågått i flera omgångar. Initialt genomfördes en första screening av transport- och lagringsprojekt inom EU med påföljande dialoger. Efter genomförbarhetsstudien och när flera av Skellefteå Krafts tekniska inriktningsbeslut tagits, gjordes ytterligare en screening av projekt inom EU med fler dialoger, se bilaga L. Utifrån detta knöts flertalet NDA:er och Letters of Intent med intressanta transport- och lagringsprojekt. Som ett nästa steg gjordes ett större arbete för att identifiera vad Skellefteå Kraft faktiskt behövde ur ett

tekniskt- och kommersiellt perspektiv gällande transport och lagring. Detta resulterade i en upphandlingsförberedande "Request for Information" (RFI), se bilaga M, där Skellefteå Kraft sökte feedback och kommentarer på de tekniska och kommersiella förutsättningar man staterat. För Skellefteå Kraft innebar RFI:n att kunskap kunde samlas gällande transport- och lagringsaktörers faktiska förmåga att dels möta Skellefteå Krafts tjänstebehov utifrån givna krav dels svara upp mot en eventuell upphandling. Detta var viktigt att förstå eftersom marknaden fortsatt är ny och få bindande kontrakt har skrivits mellan utsläppare och transport- och lagringsaktörer.

Tidigt identifierades att även om det finns många transport- och lagringsprojekt i Europa och mer specifikt, nära eller i Norden, så har dessa varierande mognadsgrad. Flera satsar på driftstart i flera faser, men med en första uppstart med mindre volymer innan 2030. För vissa projekt finns det ganska sparsmakat med information medan andra hunnit få licenser, göra ordentliga studier eller påbörjat injektion i viss mån. Sett till lagringspotentialen i Sverige så är även denna långt bort, även om SGU har pekat ut flera områden som teoretiskt möjliga för lagring. Vissa europeiska projekt som Skellefteå Kraft har hört av sig till är redan fullbokade eller har flera aspiranter som letar efter lagring. En del projekt är även bundna till specifika nationella eller regionala initiativ, där det i nuläget är oklart huruvida de kommer ta emot koldioxid från part från annat land eller som inte är involverat i respektive initiativ. Sammantaget går det att se att behovet av framtida lagring överstiger lagringspotentialen som i nuläget finns på marknaden sett till projektbasen.

I konversationer med olika transport- och lagringsprojekt har projektet upplevt att volymen koldioxid delvis påverkar transport- och lagringsprojektens intresse för utsläpparens projekt. Större volymer verkar initialt föredras, eftersom detta inverkar på hur en logistklösning kan se ut och således har stor betydelse för kostnaden för transport och lagring. Båtarna som är tilltänka är ofta ganska stora och är därför anpassade efter att ta större volymer snarare än små. Därtill finns såklart ett behov hos lagringsprojekten att säkra upp tillräckliga utsläppsvolymer för att kunna säkra projektet och investering. Mindre volymer kan på sikt säkert bli mer självklara att hantera när eller om fler utsläppare satsar på infångning, varför flera mindre och närliggande utsläppares koldioxid hade kunnat hämtas upp under samma tillfälle och båten hade kunnat fyllas upp med samfrakt. I detta fall blir det då viktigt hur en utsläppare är lokaliserad i relation till andra utsläppare. Flera transport- och lagringsprojekt är intresserade av områden där flera utsläppare ligger nära varandra för att kunna etablera mindre hubbar för upphämtning. Dock är möjligheten till samfrakt avhängt på när i tiden andra närliggande projekt realiserar. Även om Skellefteå Kraft bedömer att det finns möjlighet att på sikt samtransportera med andra utsläppare, då det finns potential och intresse regionalt för andra infångningsprojekt, så är dessa inte tidsmässigt i linje med Skellefteå Krafts nuvarande ambitioner. Värt att nämna är även hur båtens uppfyllnadsgrad och behovet av antal transporter står i direkt relation till mellanlagringsmöjligheter efter infångning och innan upphämtning. Mellanlagringens dimensionering styr hur ofta upphämtning behöver ske och därför hur mycket båten fylls upp. Att dimensionera mellanlagring till att ta

väldigt stora volymer för att minimera upphämtningstillfällena, för dock med sig andra utmaningar relaterat till ytanspråk, energibehov och vilket typ av tillstånd som behöver sökas.

Aspekter relaterat till utsläpparens geografiska läge har också inverkan på vilka transport- och lagringsprojekt som kan vara aktuella. I Skellefteå Krafts fall hade upphämtning av koldioxid med båt inneburit att fartyget behöver isklass, vilket visat sig vara något som inte nödvändigtvis är något som de tilltänka båtarna har, sett till de transport- och lagringsprojekt som kontaktats. Vissa projekt har dock öppnat upp för att de kommer ha båtar med isklass. Givetvis är även upphämtningsplatsens läge sett till transportsträcka till själva lagringsplatsen styrande för kostnaden för transport. Tillsammans med volymen koldioxid som ska upphämtas och lagras, blir därför det geografiska läget betydelsefullt. Närhet till en hamn och dess utformning är likväl en viktig aspekt för vilket transportmedel som är aktuellt. Vissa transport- och lagringsprojekts tilltänka båtar har visat sig kunna vara för stora för Skellefteå Krafts nuvarande hamn, men då den ska byggas om så kommer det inte vara ett problem framåt.

Båtarnas storlek är starkt relaterat till vilken trycksättning och temperatur som båten planeras att ha, där det går att se att det ännu inte har satts en branschstandard. Northern Lights som kan anses vara det projekt som hittills legat längst fram i utvecklingen, har initialt valt att gå för cirka 13-15 bar(g) och -26,5 grader °C. Samtidigt har flera andra projekt indikerat att de kommer gå för cirka 7 bar(g) och -50 grader °C, vilket medför större båtar. Eftersom flera projekt fortfarande är tidiga i sin utveckling, så öppnar de också upp för att nya beslut kan tas för båtarnas design gällande tryck och temperatur. Av de konversationer Skellefteå Kraft har haft med tågtransportörer har det framgått att de hittills verka föredra cirka 13-15 bar(g) och tillhörande mättnadstemperatur. Osäkerheten och skillnaderna i tekniska förutsättningar hos olika transport- och lagringsaktörer, skapar delvis en osäkerhet för utsläppare eftersom det tryck och temperatur som transport- och lagringsaktör förordar får direkt inverkan på utsläpparens egna värdekedjas tekniska utformning. Det är vid förvätskningen som trycksättning av koldioxiden sker, varför denna hade behövts utformas efter vald transport- och lagringsaktörs tekniska förutsättningar. De tekniska designparametrarna för utsläpparens mellanlagring blir därför också påverkade och behöver anpassas efter aktuell transport- och lagringsaktör. Som utsläppare kan detta medföra en viss inlåsnings effekt till ett mindre antal transport- och lagringsprojekt eller tekniska val. Ifall bio-CCS som marknad ska ta fart, behöver både utsläppare och transport- och lagringsprojekt arbeta parallellt. Utsläppare behöver därför arbetade vidare utifrån rådande tekniska premisser, i de fördjupade designstudier som behövs och i det nödvändiga tillståndsarbetet. Men eftersom dessa tekniska premisser fortfarande är tidiga och preliminära så finns en viss oro att transport- och lagringsprojekten ska hinna ändra förutsättningarna ytterligare på vägen. Sett till frågan om samfrakt av koldioxid från olika utsläppare, framförallt för att kunna optimera mindre utsläppares kostnadskalkyl, blir frågan om tekniska förutsättningar för transport och lagring än mer aktuell. Ifall närliggande utsläppare väljer att designa delar av sin värdekedja utifrån olika eller skilda

transport- och lagringsprojekts tekniska förutsättningar blir det svårt att möjliggöra samfrakt.

Utöver det faktum att branschstandarder ännu inte nåtts gällande tekniska förutsättningar för transport och lagring, så har det inte helt mognat gällande vad som erbjuds ur ett tjänsteperspektiv. Flera aktörer erbjuder transport och lagring ”as a service”, det vill säga transport och lagring köps från en och samma aktör. Detta innebär att utsläpparens egen värdekedja slutar vid upphämtningen av koldioxid och att resterande steg sker av en och samma aktör. Detta är oftast fallet där båt används som transportmedel. I de fall tåg planeras att användas som transportmedel, eller för delar av, upplevs ansvarsområden som inte lika självklara. I dessa fall framstår det som att tågtransport behöver köpas av en aktör och lagring av en annan. Vem som ansvarar för det övergripande ansvaret och som sköter koordineringen mellan dessa är i nuläget inte helt fastlagt, men till en start verkar detta i sådana fall ligga på utsläpparen som köper de båda tjänsterna. Skellefteå Kraft har även varit i konversationer med enskilda rederier som funderar på att erbjuda transport av avskild koldioxid. Även i detta fall har Skellefteå Kraft upplevt det som svårt att bedöma huruvida de lagringsprojekt som man varit i kontakt med hade varit öppna för att tredje part skötte transporten och vilket koordineringsansvar utsläpparen hade haft mellan de två aktörerna. Sammantaget finns alltså en viss omognad gällande vad som erbjuds, av vem och hur olika aktörers erbjudande sammanfaller eller koordineras.

I och med att marknads utbud av lagring överstigs av det beräknade behovet, så syns redan nu en konkurrens om tillgängliga lagringsplatser, vilken även kan antas bli större. Samtidigt innebär marknads relativa omognad att kostnadsbilden för transport- och lagring är relativt osäker. Även om uppskattningar finns så ger avsaknaden av förverkligade värdekedjor att benchmarking är svårt. För aktörer som Skellefteå Kraft har det därför varit viktigt att dels förstå sin möjlighet till att säkra lagringsplats dels förstå vad transport och lagring faktiskt hade kunnat kosta utifrån deras förutsättningar. Skellefteå Kraft har velat komma så nära ett bindande kontrakt som är möjligt för att säkerställa att bio-CCS som område faktiskt är genomförbart. En försvårande omständighet blir i detta att ett potentiellt kontrakt behöver hantera en rad osäkerheter i ledet. Framför allt hade ett kontrakt behövt ta hänsyn till att ingen av parterna antagligen kommer ha tagit ett officiellt investeringsbeslut, åtminstone i närtid. Därtill innebär avsaknaden av branschstandarder och standarder gällande tjänsteutbud att kravställning påverkas. Vill man som utsläppare öppna upp för möjligheten för samtransport eller hubbar på sikt, hade även detta behövt tas med vid en upphandling. För privata aktörer blir dock självfallet möjligheten till att förhandla eller välja specifika leverantörer annorlunda.

Svaren som togs emot utifrån den RFI som skickades ut för transport och lagring, indikerar att relativt få aktörer är redo eller intresserade av en skarp upphandling alternativt att det finns en viss ovana vid upphandlingar då marknaden fortfarande är ny. Därtill går det att se, som tidigare varit inne på, att marknads tidiga skede för med sig osäkerheter både hos köpare och leverantör, vilket påverkar ett kontraktets utformande och hur bindande villkoren är.

3.3.4 Nätutredning för elnätsanslutning

På grund av det stora effektbehovet har en särskild nätutredning påbörjats av Skellefteå Kraft Elnät och preliminära resultat pekar på vissa svårigheter att tillhanda hålla effekt på kort sikt. Frågan kommer ytterligare utredas under 2024. Resultat från utredningen fanns inte tillgängligt i december 2023.

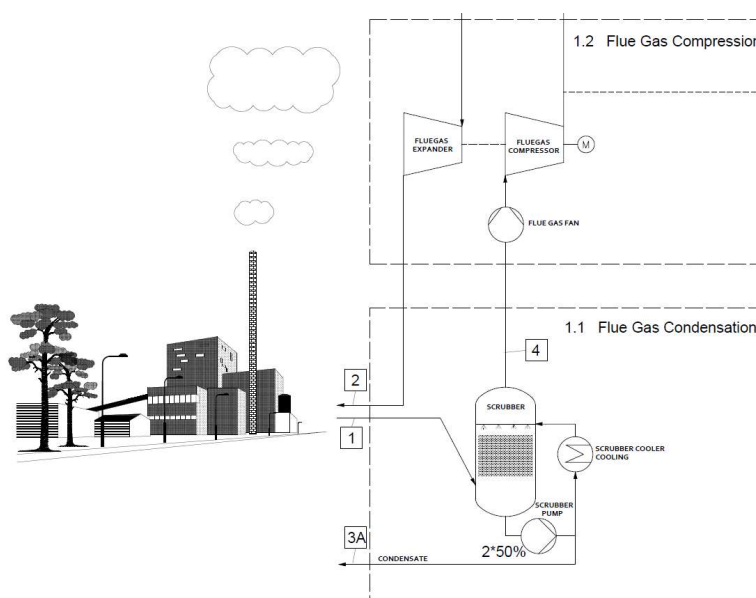
3.4 AP4: Basic Engineering

Resultaten för Basic Engineering studien har presenterats i ett antal delrapporter från Norconsult med medleverantörer, se bilaga N. I följande avsnitt sammanfattas utvalda resultat från Basic Engineering med fokus på processbeskrivningen och generella slutsatser som kan vara av allmänt intresse.

Innan Basic Engineering fasen började hade beslut tagits om att använda HPC teknologi för att urskilja koldioxid från panna H₂ på Hedensbyns bioenergikombinat. Tidigt i projektet togs även beslutet att använda den helt elektriska konfigurationen av tekniken för att förenkla integrationen mot den befintliga anläggningen samt att säkerställa att Skellefteå kraft kan producera värme och el oberoende av CCS anläggningen. Målet med anläggningen var att uppnå 140 000 ton infångad CO₂ per år med en infångningsgrad på minst 90% av den koldioxid som kom till anläggningen från totalt >170 000 ton. Målet med utredningen inom Basic Engineering fasen var att få ett bra underlag för hur en säker anläggning kan se ut samt en bra uppskattning av CAPEX och OPEX för en CCS anläggning i Skellefteå.

3.4.1 Förbehandling av rökgaserna

Innan CO₂ kan fångas in från rökgaserna behöver den uppnå rätt tryck, temperatur och fukthalt. De delar som tillhör förbehandling av rökgaser kan ses nedan i Figur 17.



Figur 17. Förbehandling rökgaser utdraget från PFD.

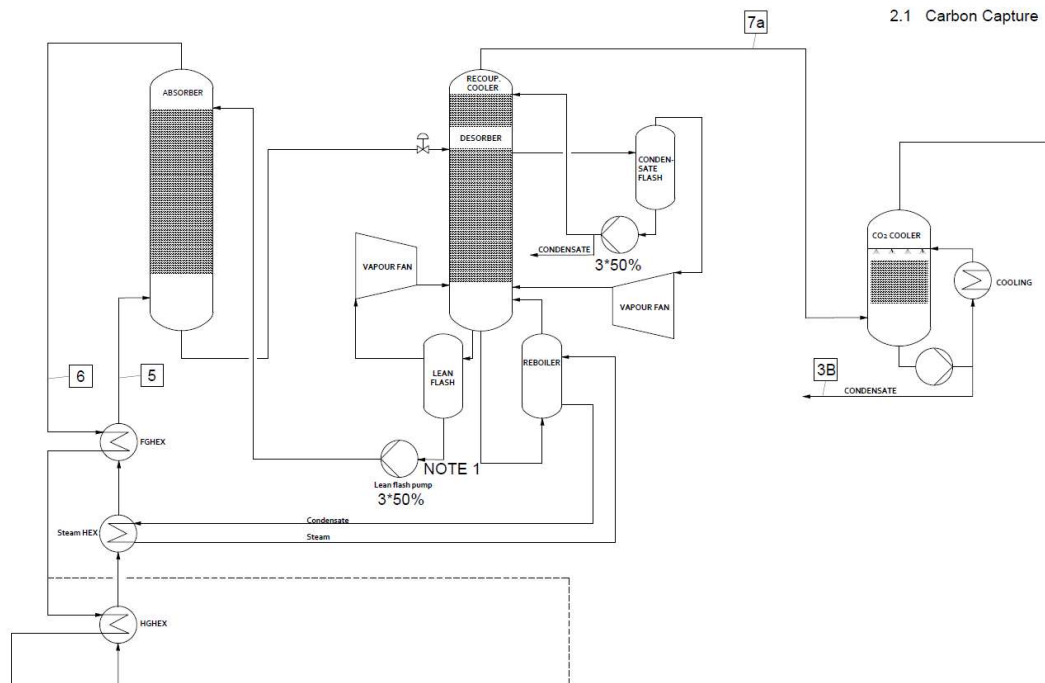
Det första steget efter nuvarande rökgaskondensering är en kyl-skrubber där rökgaserna kyls ytterligare samt att mer vatten fälls ut. Från skrubbern kommer en hel del kondensat som bildats vilket kan återanvändas i processen för att reglera vattenbalansen eller skickas tillbaka till Skellefteå Krafts nuvarande vattenbehandling innan utsläpp sker.

Efter förbehandlingen av rökgaserna går de vidare till en kompressor/expander som är sammankopplade på gemensam axel. Trycket på rökgaserna behöver höjas till ungefär 7 bar innan avskiljning kan ske. Genom att använda en expander på de rökgaser som kvarstår efter separation kan mycket av den mekaniska energi som krävs för komprimeringen genereras. Detta kan spara upp till 60% av den energi som krävs för kompressorn. Innan komprimeringssteget finns även möjligheten att återföra rökgaserna i kretsen för recirkulation som kommer krävas då pannanläggningen går på låg effekt. Kompressorer av denna storlek klarar normalt inte av det flödesspann av rökgaser som pannan kan leverera vilket gör att recirkulation krävs. Detta driftsfall infaller under höst och vår då värmebehovet är lågt.

Innan rökgaserna går in i absorptionstornet möter den komprimerade rökgasen de gaser som kvarstår efter avskiljning i två stycken värmeväxlare. Vid komprimering höjs temperaturen avsevärt vilket inte är bra för kommande steg. Genom att kyla de inkommande gaserna med utgående gaserna kan även mer energi tas tillvara på i expandern. Mellan dessa två värmeväxlare sitter även en tredje där värme tas från rökgaserna till en reboiler som används i desorptionssteget.

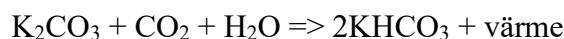
3.4.2 Avskiljning av koldioxid

Efter förbehandlingen kan själva avskiljningen av CO₂ påbörjas. De ingående delarna i detta steg kan ses i Figur 18.

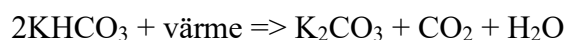


Figur 18. Avskiljning CO₂ utdraget från PFD.

De behandlade rökgaserna går sedan in i absorptionstornet där CO₂ avskiljs med hjälp av HPC-teknologi. En lösning av kaliumkarbonat (solvent) sprejas i toppen av tornet och möter rökgaserna som förs in i botten och CO₂ binds kemiskt via reaktionen:



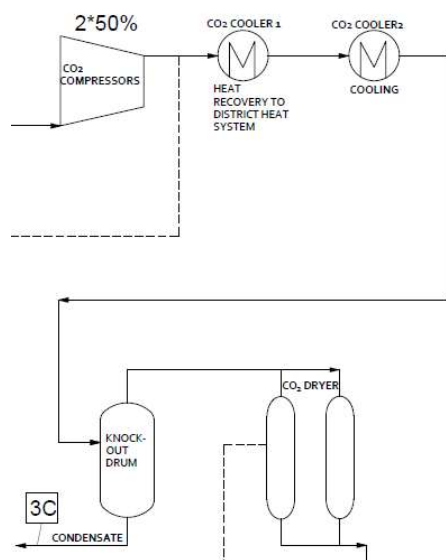
Solventen som är rik på CO₂ samlas i botten av absorptionstornet och förs vidare av trycket som bildas i tornet av kompressorn. En reglerventil ser till att hålla en viss vätskepelare kvar i tornet. Från botten av absorptionstornet går en ledning upp till toppen av desorbtorner. Här sker den omvända reaktionen där värme tillsätts för att få CO₂ att frigöra från solventen:



Värmen i desorbtorner kommer från tre källor. Reboilern, som beskrevs tidigare där inkommande rökgaser kyls efter kompression, samt två flash system kopplade mot tornet. Dessa kallas för lean och condensate flash i projektet och lean sitter under desorbtorner och drivs av solvent där CO₂ plockats ut medan den som heter condensate är kopplad mot toppen av tornet. Flash systemen fungerar utifrån principen att varm vätska förs in i en tank där kompressorer/fläktar sänker trycket för att bilda ånga som kan återföras till desorbtorner. Då CO₂ avskilts från solventen stiger den i tornet och går via en kylare vidare till efterbehandlingen.

3.4.3 Efterbehandling CO₂

Efter avskiljningen måste koldioxiden behandlas ytterligare innan transport i pipeline kan ske. De ingående stegen i efterbehandlingen visas i Figur 19.



Figur 19. Efterbehandling koldioxid utdraget från PFD.

Koldioxid som kommer från avskiljningen kommer först till ytterligare ett kompressorsteg. Här höjs trycket till ca 10 bar för att klara transporten till hamnen. Innan transport kyls koldioxiden ytterligare via två värmeväxlare där den

ena är kopplad till fjärrvärmenätet och den andra till ett kylsystem. Koldioxiden passerar även en zeolit-tork för att få bort risken att vatten fälls ut under transporten som kan ställa till problem.

Under basic designfasen användes pipeline som transportlösning för koldioxiden till hamnen. Sträckan ner till hamnen är cirka 15 km lång och pipeline hade utsetts till den bästa lösningen under tidigare gjorda förstudier. Pipeline har goda förutsättningar att fungera för Skellefteå Krafts lösning. Den tänkta dragningen går under nästan hela sträckan i skog med god säkerhetsmarginal till bebyggelse. Då koldioxiden fraktas i gasform skulle ett totalt rörbrott bara orsaka farlig miljö i direkt anslutning till läckan.

Tidigare hade även lastbil eller tåg utretts, men båda dessa lösningar kräver förvätskningsanläggning på Hedensbyn vilket försökts undvika ur både kostnads- samt säkerhetsperspektiv.

3.4.4 Terminal för export

Nere i hamnen kommer förvätskning och mellanlagring ske. Den inkommande koldioxiden blandas med boil of gas (BoG) från tankar och exportledningar. Den teknik som föreslagits under basic design-studien har tre kompressions steg, med kylning mellan dem, för en slutlig produkt med en halt över 99% CO₂ vid 7,5 bars tryck och -52 grader C. Lagring sker i 10 stycken 1000 m³ cylindriska tankar som är sammanlänkade via en header med möjlighet att isolera tankar om problem skulle uppstå. Alla tankar har egna övertrycks- samt vakuumventiler för att säkerställa att över- och undertryck inte bildas i tankarna. Systemet innefattar även en mindre pumpkrets för förkylning av tankarna då de ska tas i drift eller då det varit uppehållsperiod.

För export kommer två ledningar läggas i kulvert ut till en oljekaj som idag finns i hamnen. Ledningarna är till för flytande koldioxid som levereras till skepp samt en ledning för BOG tillbaka till förvätskningsanläggningen för att inte förlora infångad gas. Ute på kajen installeras en marin lastarm som ansluter till skeppet. Denna behöver förses med break away koppling som säkerhetsåtgärd, ifall skeppet skulle röra sig under export, och möjlighet finns att återföra koldioxiden via BOG systemet. För att tömma exportledningen har ett PIG-system föreslagits mellan tankar och kaj. Hela anläggningen i hamnen ligger längst ut på området och tankarna placeras närmast vattnet med en skiljevägg mot övrig anläggning för att minimera skadan vid ett större fel.

3.4.5 Energiförbrukning

Energiförbrukningen kan enklast delas upp på de två olika siterna, Hedensbyn och hamnen. Hedensbyn kommer vara den större förbrukaren av dessa anläggningar då det är här de stora kompressorerna för både rökgas och koldioxid kommer finnas. Den indikation Skellefteå Kraft fått om elförbrukning visas nedan i Tabell 9.

Tabell 9. *Elförbrukning Bio-CCS anläggning Hedensbyn och hamnen.*

Konsument Hedensbyn	MW
Rökgas kompressor/expander	6,2
Ångfläktar	2,6
CO ₂ kompressor	2,4
Pumpar	1,4
Totalt	12,5
Konsumenter hamnen	MW
Kompressorer	3,9
Övrigt	1,5
Totalt	5,4

Utöver el finns det ett större behov av kylning på båda anläggningarna. På Hedensbyn finns idag ett kylsystem men det saknas kapacitet för att klara av det tillkommande kylbehovet. Nya kylanläggningar kommer därför behöva byggas för både Hedensbyn och hamnen. Det indikerade kylbehovet är 14 MW för Hedensbyn och 10 MW för hamnen.

Från infångningsanläggningen på Hedensbyn kan 1,8 MW plockas ut i form av värmeenergi som kan användas i fjärrvärmenätet. Detta sker efter koldioxidkompressorerna med hjälp av en värmeväxlare. Ett visst värmebehov finns på anläggningen under sommarmånaderna när värmeverket inte är i drift. Kaliumkarbonatlösningen kan om temperaturen blir för låg bilda fasta salter som ansamlas i lagringstanken. För att undvika detta har användning av fjärrvärme föreslagits men detta behov förväntas inte bli särskilt stort.

3.4.6 Kvarvarande utredningspunkter

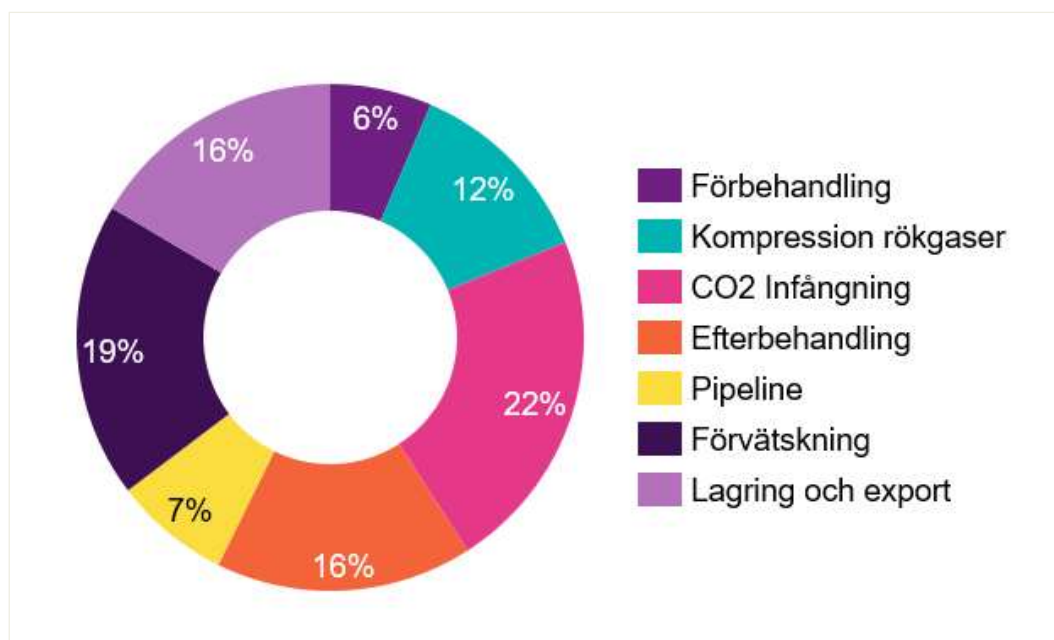
Det har indikerats att det kan gå att få ut mer värmeenergi från anläggningen med hjälp av värmepumpar.

Det kan även finnas möjlighet att implementera katalysatorer i anläggningen för att snabba på reaktionen för att binda och släppa koldioxid. Detta kan medföra en lägre energiförbrukning samt mindre absorptions och desorptionstorn vilket skulle medföra ett lägre CAPEX. Vissa tillsatser med en korrosionshämmande effekt kan även krävas för att systemet ska hålla den livslängd som förväntas. Det finns dock vissa nackdelar när tillsatser används då dessa kan ha andra krav än HPC gällande deponi och kan även göra kemikaliehanteringen mer invecklad. Användning av dessa har dock inte beaktats i basic engineering fasen och behöver utredas närmare innan beslut om tillsatser tas.

Under Basic engineering har riskanalyser i form av HAZOP och HAZID genomförts. Under dessa möten kom många bra punkter upp för att öka säkerheten på anläggningen. Vissa av dessa har implementerats redan under basic engineering fasen men många kvarstår och är viktiga att ha kvar till nästa fas i projektet.

3.4.7 Kostnadsestimat

Från basic design-studien togs ett kostnadsestimat fram med hjälp av en rad olika leverantörer för olika delar av anläggningen. Målet var att noggrannheten i estimatet skulle uppnå -20%/+30% eller enligt AB04. De delar av estimatet där prisuppgifter saknades användes erfarenheter från Norconsult för att få en komplett prisbild. Studiens procentuella uppskattning av CAPEX fördelat på sju olika delar av värdekedjan ses i Figur 20.



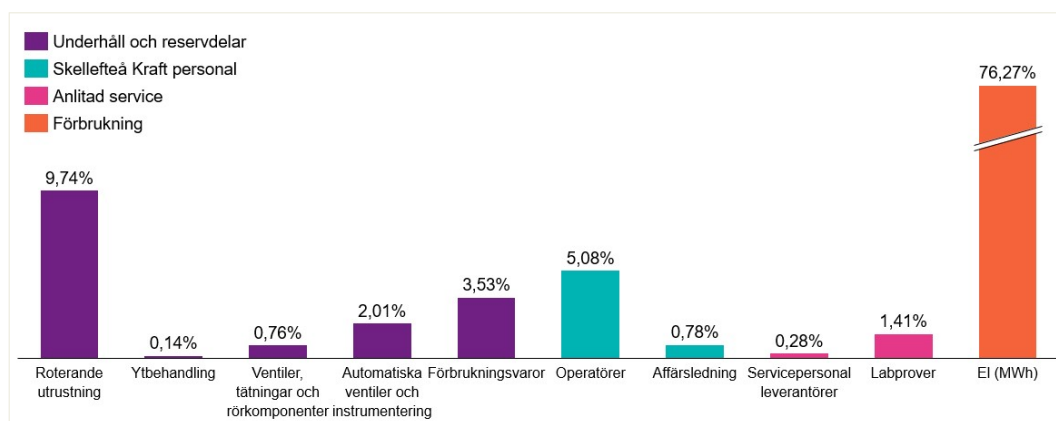
Figur 20. Procentuell fördelning CAPEX för bio-CCS.

OPEX estimerades delvis från procentsats baserat på maskinkostnaden som ska representera det underhåll och reservdelar som dessa behöver samt uppskattade personal och elkostnader som Skellefteå Kraft och Norconsult tagit fram. OPEX poster med estimat av kvantiteter visas i Tabell 10. I Figur 21 framgår procentuell fördelning av OPEX baserat på de olika kostnadsposterna.

Tabell 10. OPEX poster för bio-CCS värdekedja.

Beskrivning	Kvantitet
Underhåll och reservdelar	
Roterande utrustning	2% av inköp

Ytbehandling	
Ventiler, tätningar och rörkomponenter	5% av inköp
Automatiska ventiler och instrumentering	3% av inköp
Förbrukningsvaror	
Skellefteå Kraft personal	
Operatörer	4
Affärsledning	0,5
Anlitad service	
Servicepersonal leverantörer	4
Labprover	10
Förbrukning	
EI (MWh)	72 082



Figur 21. Procentuell fördelning OPEX för bio-CCS.

Underhåll och reservdelar för roterande utrustning sattes något lägre än normalt då det indikerats av leverantörer att mycket av priset för stora kompressorer ligger på strukturella delar. Dessa förväntas inte att behöva bytas under maskinens livslängd vilket gör att en något lägre procentsats används för en mer realistisk bild. Förbrukningsvaror innefattar kaliumkarbonat, smörjmedel med mera.

Leverantörers servicepersonal förväntas besöka anläggningen vid cirka fyra tillfällen per år enligt framtida serviceavtal. Labprover förväntas behöva

analyseras hos extern firma då Skellefteå Kraft idag inte äger någon utrustning för detta. Dessa avser främst kvalitén på CO₂ för att se att anläggningen levererar det som förväntas. Elförbrukningen gäller för både Hedensbyn och hamnen.

3.5 AP5: Upphandlingsdokument inför investering i bio-CCS

Arbetspaket 4 levererade en omfattande dokumentation enligt bilaga N – Basic Engineering deliverable list som innehåller noggranna specifikationer och tekniska lösningar för hela infångningsanläggningen och kan pga känslig information inte presenteras offentligt. Dokumentationen är ämnad för genomförande av fortsatt Detail Engineering innan projektet kan gå in i en upphandlingsfas för leverans av utrustning till site.

2.6 AP6: Slutrapportering

Detta dokument.

4 Diskussion

Med genomförbarhetsstudie och utförd Basic Engineering har projektet visat på hur bio-CCS är tekniskt genomförbart för panna H2 på Hedensbyn. Inför Basic Engineering tog projektet ett beslut om att fokusera på HPC FE framåt. Detta beslut var i sig en utmaning eftersom respektive infångningsteknik för med sig både för- och nackdelar, och inriktningsbeslutet var därför inte självklart från början. Slutligen enades projektet om att prioritera HPC-tekniken framgent eftersom den är giftfri, har lägre HSE-risker än aminer och att genomförbarhetsstudien visade att HPC-tekniken uppvisade både den lägsta initiala investeringen samt de lägsta löpande kostnaderna vid drift. Framför allt värdesattes hur HPC FE-konfigurationen verkar ha minst effekt på befintliga och nya kraftvärmeverk (H2&H3) samt har minst kylbehov. Med detta sagt blev det för projektet tydligt hur det inte går att på en generell nivå rekommendera någon teknik, utan detta behöver analyseras utifrån respektive utsläppares unika förutsättningar och prioriteringar.

Teknikens energieffektivitet har konstaterats vara utmanande i projektet. Mycket energi går åt till en process som utifrån studierna för med sig begränsningar i flexibiliteten för lastfall och därför infångningsgrad. För Skellefteå Kraft innebär HPC-tekniken att infångning främst blir aktuell under vinterhalvåret, medan pannan under månader med lägre värmebehov kommer behöva köras utan infångning. Detta hade även varit fallet om Amin-teknik eller CAP används, men inte i samma utsträckning nödvändigtvis. Ur ett bredare perspektiv, där Skellefteå Kraft befinner sig, i en region med många elintensiva satsningar, behöver därför en eventuell satsning på bio-CCS även sättas i denna kontext. Diskussion eller till viss del prioritering av existerande el och kapacitet, väntas bli allt mer aktuell framöver där satsningar på bio-CCS behöver ställas mot konkurrerande satsningar. Därtill har det framgått hur fjärrvärmens kapacitet delvis är en begränsande faktor samt tillgången till kyla. En satsning på bio-CCS och vald

teknik behöver därför vägas emot hur den stora mängden restvärme kan och kommer kunna hanteras framgent. Hur effektiv energiintegrationen kan ske med befintlig anläggning blir kritisk för processens energibehov och således ekonomin. En effektiv integration där restvärme i processen kan omhändertas till fjärrvärmenätet är såklart önskvärt ur ett ekonomiskt perspektiv, förutsatt att nätets kapacitet inte överbelastas.

Trots detta ser Skellefteå Kraft själva tekniken för bio-CCS som genomförbar. Det är möjligt att etablera en bio-CCS värdekedja utifrån ett flertal koncept. De utmaningar som projektet framför allt har identifierat är snarare gällande ekonomi och gränssnittet mot andra aktörer i värdekedjan.

Bio-CCS innebär en stor ekonomisk investering oaktat teknikval. Marknadens omognad gör att det finns en viss osäkerhet kring kostnader vilket ökar den finansiella risken för aktörer. Den Basic Engineering som gjordes indikerade även att investering och driftskostnader kan väntas bli större än vad som framgån i genomförbarhetsstudien och kommer påverka kostnaden för infångning. Projektet har förstärkt tesen om att volym- och skalfördelar är viktigt för att bygga ett hållbart affärsfall. För mindre utsläppare såsom Skellefteå Kraft begränsas möjligheten till en ekonomisk hållbar affärsmodell jämfört med större utsläppare. Givet olika teknikers förmåga att hantera olika lastfallsprofiler och således total infångningsgrad under ett år, kan ekonomin utmanas ytterligare.

Investering och volym koldioxid behöver även sättas i relation till transport och permanent lagring av koldioxiden. I relation till Skellefteå Krafts placering i norra Sverige, relativt långt bort från lagringsprojekt och med tillkommande krav såsom isklass på fartyg, kan en viss fördyring skapas likväl en än mer komplex värdekedja. Det sistnämnda är även något som inneburit att vissa lagringsprojekt har kommit att ses som inaktuella för Skellefteå Kraft, då dessa inte i nuläget planerar att utforma skeppen med isklass.

Det är även i gränssnittet mot olika transport- och lagringsaktörer som Skellefteå Kraft upplevt osäkerheter i större utsträckning. Timing, att olika aktörers tidsplaner taktar rätt, är centralt för både utsläppare och lagringsprojekten. Flera olika transport- och lagringsprojekt har identifierats i studien, men med varierande mognadsgrad och tidslinjer. Givet båda parter komplexa värdekedja skapar detta ett relativt ovisst beroende. Utsläppare är beroende av att kunna säkra lagring framåt medan lagringsprojekten är beroende av att kunna säkra volymer för lagring, samtidigt som båda parter ofta är långt ifrån ett investeringsbeslut. Oavsett väntas konkurrens om lagringsutrymme bli hög framgent, i det att nuvarande lagringsprojekts totala kapacitet överstigs av den förväntade efterfrågan.

I nuläget saknas tekniska standarder kring transport och lagring, vilket försvårar ytterligare. Även om det verkar finnas vissa preferenser för tryck och temperatur, är ramar inte helt satta. Detta blir problematiskt då vissa tekniska standarder har en direkt påverkan på utsläpparens egen värdekedja, vilket kan bidra till inlåsningseffekter till en specifik transport- och lagringsaktör eller design. Sätts detta i perspektivet att skalfördelar bidrar till mer hållbara affärsfall, blir det

problematiskt och hade kunnat missgynna samarbete utsläppare emellan. Givet att bio-CCS önskas implementeras nationellt i stor skala och bidra till Sveriges klimatmål, är frågor som detta centralt för att bidra till en hållbar och ekonomiskt försvarbar implementering.

De omvända auktionerna är ett bra initiativ som Skellefteå Kraft ser som centralt för att stimulera direkta satsningar. I och med den ekonomiska risk och marknadens inneboende osäkerheter, behöver det dock bli än tydligare när och hur en första omvänd auktion kan väntas ske. En satsning på bio-CCS innebär långa ledtider varför förutsättningar behöver finnas tidigt. I relation till gränssnitt och timing med transport- och lagringsprojekt blir detta än mer prekärt. Samtidigt som de omvända auktionerna hoppas stimulera en marknadstillväxt, finns en viss farhåga att detta ska skapa ofördelaktig resurshållning. För flera mindre, men även större aktörer, hade möjligheten till samarbete i värdekedjan bidragit till mer hållbara affärscase genom skalfördelar, vilket i sin tur bidragit till mer effektivt nyttjande av det statliga stödet. Inför en omvänd auktion är det dock inte säkert att detta perspektiv gynnas.

I relation till frivillighetsmarknaden har projektet sett att det finns en stor efterfrågan på negativa utsläpp från bio-CCS. Efterfrågan förutspås i hög grad överstiga det potentiella utbudet. Givet detta finns därför utrymme att stimulera satsningar på bio-CCS utanför de omvända auktionerna och skapa ytterligare klimatnytta. Samtidigt som vissa aktörer i Sverige har börjat ingå intentionsavtal för försäljning av negativa utsläpp och försäljning även sker internationellt, så är det i dagsläget inte tydligt hur regelverket ser ut för frivilligmarknaden och bio-CCS. Detta skapar stora osäkerheter för projekt runt om i landet kring hur och om man vågar satsa. Utöver att i nuläget bromsa utveckling och satsningar, så kan detta på lång sikt direkt åsamka att en frivilligmarknad med bio-CCS inte tar fart och att eventuella köpare vänder sig till andra teknologier i stället. Skellefteå Kraft anser att det behövs ett aktivt agerande för att tydliggöra hur en frivilligmarknad kommer hanteras och hur ägandeskap för minusutsläpp ska se ut.

I skrivandets stund är utfallet i de tillståndsprocesser som Skellefteå Kraft inlett fortsatt oklart. Tillståndsarbetet har varit omfattande och tagit mycket tid i anspråk, framför allt givet att det idag i Sverige finns begränsade erfarenheter av tillstånd för bio-CCS. Projektet har i och med detta, i mångt och mycket brutit ny mark gällande tillståndsförfarandet för bio-CCS. Det i nuläget oklara utfallet och tiden som har tagits i anspråk för processen, indikerar att tillståndsförfaranden för andra aktörer likväl kan komma att innebära osäkerheter och långa ledtider. Önskas en accelerering i implementationen av bio-CCS i Sverige och fler direkta satsningar, behöver detta tas hänsyn till. I och med de omvända auktionerna som delvis ställer krav på viss mognadsgrad i tillståndsfrågan för de som söker och därtill kring drifttagning, är detta än mer aktuellt. Möjligheten till en förutsägbar tillståndsprocess kommer sannolikt påverka aktörers förmåga att delta i de omvända auktionerna.

I tillståndsförfarandet skapar gränssnittet mot andra parter i värdekedjan ytterligare komplexitet. Tillståndsprocessen för med sig vissa krav gällande val av teknik och design. Samtidigt är delar av en utsläppares egen värdekedja direkt

beroende av transport- och lagringsaktörers teknikval gällande exempelvis tryck, temperatur och fraktvolymer, vilket sett till marknadens mognad inte nödvändigtvis är bestämt än. Således finns viss risk för inlåsnings effekter beroende på hur tillståndet utformas och hur förfarandet genomförs. Ett tillståndsförfarande kräver en viss mognadsgrad sett till val av teknik, vilket i sig förutsätter relativt omfattande studier och val gällande design.

Efter snart två års projektarbete behöver Skellefteå Kraft nu efter projektavslut fundera kring nästa steg. Utöver att kunskapen om bio-CCS har ökat markant under åren har även flera aspekter dykt upp under projektets gång, vilka påverkar affärscaset för bio-CCS och som nu behöver ses över. Detta innefattar bland annat möjligheten till alternativa intäktsströmmar utöver de omvända auktionerna, investering i förhållande till pannans ålder, konkurrerande koldioxidaffärer såsom CCU och möjligheten till volym- och skalfördelar i närtid. Skellefteå Kraft tror att bio-CCS har en viktig roll att fylla i Sveriges framtida klimatarbete och en implementering kan ske snabbt förutsatt att fortsatt stöd ges för tidiga investeringar i framförallt kunskap och infrastruktur som möjliggör värdekedjorna till vi har en fungerande marknad med en reell efterfrågan som kan driva investeringar.

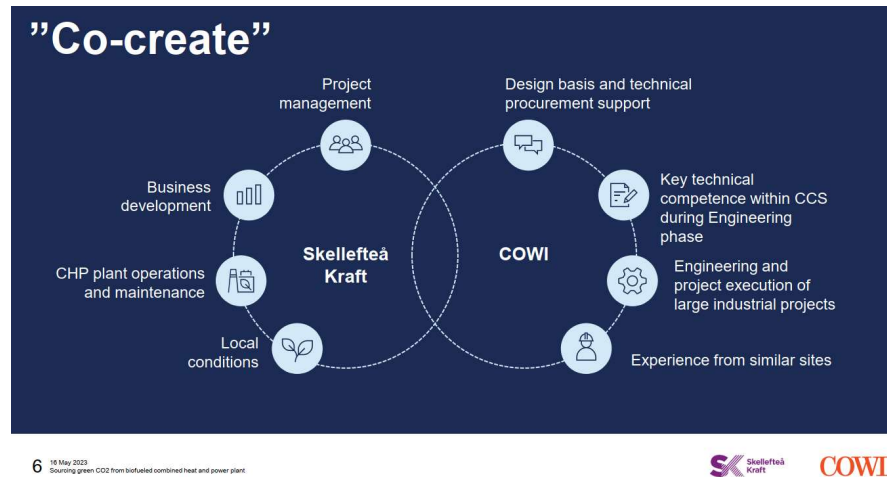
5 Publikationslista

Projektet har diskuterats och presenterats i lokalpress, i samråd för miljö tillstånd, och på konferenser. Energimyndighetens riktlinjer om märkning av presentationsmaterial har använts där så varit applicerbart. Projektets slutsatser inför ett eventuellt genomförande och behov infrastruktur för CO₂ kommer presenteras i vår på nästa "CO₂ Capture storage and reuse" konferens i Köpenhamn 15-16/Maj 2024.

- [Skellefteå Kraft överväger ny miljardsatsning](#)
Kort intervju med affärsutvecklare Erik Pott angående projektets omfattning.
- Q&A BECCS för Skellefteå Krafts kundtjänst.
Företagsinternt dokument som hjälper kundtjänst att besvara frågor hur

satsningen skulle kunna påverka vår fjärrvärmeleverans, energiförbrukning, hållbar tillväxt och miljö mm.

- CO2 Capture storage and reuse 2023, Copenhagen. Skellefteå kraft bidrog till COWI's presentation där vi presenterade erfarenheter från samarbetet och hur vi fått stöd för genomförande av basic engineering



- RFI gällande transport och lagring, se bilaga M
- Samråd inför tillståndprocess, se bilaga J

6 Referenser, källor

Andersson, Lars. "Skellefteå Kraft överväger ny miljardsatsning". *Norran*, 14 september, 2023. [norran.se/bli-prenumerant/artikel/rxzddq8j/nv-bd-0kr-dp_week](https://www.norran.se/bli-prenumerant/artikel/rxzddq8j/nv-bd-0kr-dp_week)

Borglund, Ann-Sofie. "Omstritt förslag hotar försäljningen av negativa utsläpp". *Tidningen Energi*, 27 juli, 2023. <https://www.energi.se/artiklar/2023/juni-2023/omstritt-forslag-hotar-forsaljningen-av-negativa-utslapp/>

Borglund, Ann-Sofie. "Så kan Sverige ta taten inom bio-CCS". *Tidningen Energi*, 28 februari, 2022. <https://www.energi.se/artiklar/2022/februari-2022/sa-kan-sverige-ta-taten-inom-bio-ccs/>

Bioenergitidningen. "Skellefteå Kraft satsar på koldioxidinfångning". *Bioenergitidningen*. Hämtad 9 oktober, 2023. <https://bioenergitidningen.se/skelleftea-kraft-satsar-pa-koldioxidinfangning/>.

Bygg- och miljönämnden i Skellefteå kommun, ärendenummer #270613

CDR.fyi. *CDR.fyi 2022 Year in Review*. CDR.fyi, 2022. <https://medium.com/cdr-fyi/cdr-fyi-2022-year-in-review-d095acd9a1a0> (Hämtad 2023-10-10).

Energimyndigheten. *Bio-CCS: bokföring och rapportering av negativa utsläpp samt disposition av dessa*. Energimyndigheten, 2023.

<https://www.energimyndigheten.se/492ae9/globalassets/klimat--miljo/ccs/promemoria-bio-ccs-bokforing-och-rapportering-av-negativa-utslapp-samt-disposition-av-dessa.pdf> (Hämtad 2023-10-10).

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

Energimyndigheten. ”Statligt stöd för bio-CCS”. *Energimyndigheten*. Hämtad 9 oktober, 2023. <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/>.

Mistry, Karan., Bahar Carroll, Thomas Baker, Paulina Ponce de Leon, Alex Dewar och Amy Sims. *The Time for Carbon Removal Has Come*. BCG, 2023. <https://web-assets.bcg.com/44/75/58c3126c4050b74ae75b037e9434/bcg-the-time-for-carbon-removal-has-come-sep-2023.pdf> (Hämtad 2023-10-09).

Miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen i Västerbottens län, dnr 2230-2023

Möllersten, Kenneth., Lars Zetterberg och IVL Swedish Environmental Research Institute. *Bringing BECCS credits to voluntary carbon markets*. Sustainable Finance Lab, 2023. https://www.sustainablefinancelab.se/wp-content/uploads/sites/14/2023/08/Bringing-BECCS-credits-to-voluntary-carbon-markets_web.pdf (Hämtad 2023-10-11).

Naturvårdsverket. *Kompletterande åtgärder enligt det klimatpolitiska ramverket*. Naturvårdsverket, 2023. <https://www.naturvardsverket.se/493bd4/contentassets/72ca3395d21f434a9ba454676be8b612/redovisning-ru-kompletterande-atgarder-enligt-klimatpolitiska-ramverket.pdf> (Hämtad 2023-10-11).

Regeringskansliet. ”Stor satsning görs på infångning av biogen koldioxid”. *Regeringskansliet*. Hämtad 9 oktober, 2023. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/11/stor-satsning-gors-pa-infangning-av-biogen-koldioxid/>.

Skövde Energi, *Klimatpositiv fjärrvärme med BECCS*, Energimyndigheten, 2023.

SOU 2020:4 *Vägen till en klimatpositiv framtid*.

Stockholm Exergi. ”Stockholm Exergi lanserar unikt erbjudande med minusutsläpp – stort kundintresse direkt”. *Stockholm Exergi*. Hämtad 10 oktober, 2023. <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/stockholm-exergi-lanserar-unikt-erbjudande-med-minusutslapp-stort-kundintresse-direkt/>.

Wennberg, Anette. ”Öresundskraft och Wihlborgs i avtal om negativa utsläpp”. *Dagens Fastigheter*, 3 november, 2022. <https://www.dagensfastigheter.se/20221103/10100/oresundskraft-och-wihlborgs-i-avtal-om-negativa-utslapp>

Wickström, Johan. ”Stödet till bio-CCS behöver vara betydligt högre”. *Tidningen Energi*, 10 september, 2021. <https://www.energi.se/artiklar/2021/september-2021/stodet-till-bio-ccs-maste-vara-betydligt-hogre/>

Wickström, Johan. ”Så satsar regeringen på energi och klimat i budgeten”. *Tidningen Energi*, 20 september, 2023. <https://www.energi.se/artiklar/2023/september-2023/sa-satsar-regeringen-pa-energi-och-klimat-i-budgeten/>

Öresundskraft. ”Catena och Öresundskraft i avtal om negativa utsläpp”. *Öresundskraft*. Hämtad 10 oktober, 2023. <https://www.oresundskraft.se/blogg/catena-och-oresundskraft-i-avtal-om-negativa-utslapp/>.

Umeå kommun. Nyheter från Bygg och Miljö, ” Koldioxid från Dåva kan bli grönt bränsle” <https://www.umea.se/byggaboochmiljo/nyhetsarkiv/arkivenergi/koldioxidfrandav-akanbligrontbransle.5.544b30ee185384bdfbe2e68f.html>

7 Bilagor

- Administrativ bilaga till Slutrapport
- Bilaga_A_Projektdeltagare
- Bilaga_B_Captimise_Pre-feasibility study report 20220502_2
- Bilaga_C_Captimise_Logistics_Study_SK_r2
- Bilaga_D_Captimise_HSE summary_SK_r2
- Bilaga_E_Captimise_Executive_Summary_Skellefteåkraft_r2
- Bilaga_F_Captimise_Plant Specification
- Bilaga_G_Captimise_Roadmap_SK_r2
- Bilaga_H_Giammarco Vetrocoke_2626-Technical Report-0
- Bilaga_I_PM förutsättningar för tillstånd - teknikval och mjuka värden
- Bilaga_J_Samradsunderlag-SK-BECCS-221020
- Bilaga_K_Varumärkesperspektivet_ver3
- Bilaga_L_Lagringsaktörer_ver4
- Bilaga_M_Request for information CO2 Final storage
- Bilaga_N_Basic_Engineering_deliverable_list

