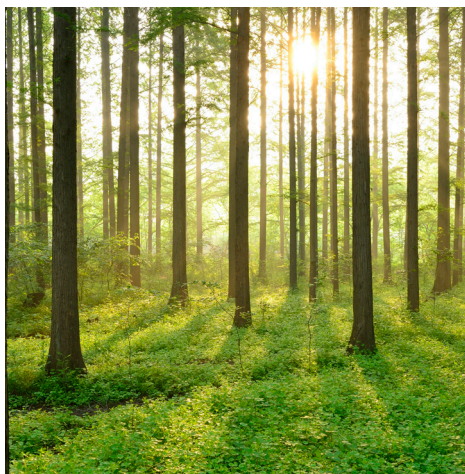


SAMVERKAN KRING INFRASTRUKTUR FÖR TRANSPORT OCH LAGRING AV KOLDIOXID

RAPPORT 2022:838



Samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid

EBBA LÖFBLAD, JENNY GODE, JAN KJÄRSTAD
CECILIA GRUBBSTRÖM, JOHAN HOLM,
ÅSA ROMSON, LINNEA STEEN

ISBN 978-91-7673-838-2 | © Energiforsk januari 2022

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Negativa utsläpp kommer sannolikt att krävas för att Sverige ska kunna uppnå sina klimatmål. Det här projektet har utrett möjligheterna för fjärrvärmebranschen att bidra med negativa utsläpp genom avskiljning, transport och lagring av biogen koldioxid från kraft- och fjärrvärmeanläggningar inklusive avfallsförbränningsanläggningar.

Uppvärmningssektorn har som vision att år 2045 vara en kolsänka som hjälper till att minska de totala svenska växthusgasutsläppen. Inom sektorn finns stor potential för bio-CCS eftersom en betydande andel av Sveriges biogena utsläpp kan härledas till punktutsläpp inom sektorn. Men för att realisera potentialen och uppvärmningssektorns vision om att bli en kolsänka krävs konkreta insatser.

Målet med projektet har varit att ta fram ett kunskapsunderlag som visar hur fjärrvärmesektorn kan bli en kolsänka till år 2045 genom avskiljning och lagring av biogen koldioxid från förbränning av biobränslen och avfall. Underlaget har legat till grund för fjärrvärmesektorns arbete med att utveckla en strategi för bio-CCS vid kraft- och värmeproduktion inklusive förbränning av avfall.

Projektet ger konkret vägledning till fjärrvärmeföretagen när det gäller implementering av bio-CCS. I arbetet har ingått att visa på robusta utvecklingsvägar för utbyggnaden av bio-CCS och hur bio-CCS från år 2030 kan drivas på affärsmässiga grunder. Arbetet har omfattat sex arbetspaket samt en sammanfattande syntes kring ekonomi, teknik, infrastruktur, policy, regelverk och hållbarhetsaspekter för storskalig introduktion och användning av bio-CCS i fjärrvärmebranschen. En mindre kunskapssammanställning kring CCU har också genomförts inom projektet.

Energiforsk har varit värd för projektet som har letts av Jenny Gode (Profu) och utförts av ett 20-tal forskare och experter från Profu, IVL Svenska Miljöinstitutet, Chalmers Tekniska Högskola, Linköpings Universitet och RISE. Projektet har utförts i nära samverkan med fjärrvärmebranschen, avfallsbranschen, myndigheter och andra aktörer längs värdekedjan för bio-CCS.

Energiforsk vill rikta ett tack till medverkande forskare och företag som bidragit med stor kunskap och stort engagemang under projektet. Sammantaget har över 100 personer från mer än 40 olika organisationer bidragit till projektets genomförande. Energiforsk vill också rikta ett särskilt tack till Energimyndigheten, deltagande företag och organisationer som har finansierat projektet.

Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Effektiv infrastruktur för transport och lagring av koldioxid kommer att vara en förutsättning för att realisera bio-CCS som klimatåtgärd. Eftersom det handlar om betydande investeringar för enskilda företag är samverkan kring infrastrukturen, både mellan fjärrvärmeföretagen men också tillsammans med andra industrier och aktörer, sannolikt avgörande för utbyggnad av infrastrukturen.

Analyserna inom detta arbetspaket (arbetspaket 3) inom ramen för projektet *Bio-CCS i fjärrvärmesektorn*, har haft som övergripande syfte att visa hur infrastrukturen för transport och lagring kan samordnas och successivt byggas ut i samverkan mellan fjärrvärmeföretagen och andra sektorer.

Det finns potentiellt stora volymer koldioxid i Sverige som kan avskiljas, transporteras och lagras. Det främsta incitamentet för samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid handlar om att identifiera samarbeten som innebär minskade kostnader för deltagande aktörer. Många faktorer inverkar på om det är lönsamt att samverka eller inte, men generellt gäller att stora volymer sänker kostnaden, både vad gäller förvätskning och/eller kompression av koldioxiden samt transport till lagringsplats. Faktorer som spelar in i kostnadsbilden handlar om alltifrån typ av transportslag, avstånd från anläggning till hamn respektive slutlager, antal fasomvandlingar som behövs, antal drifttimmar och hur koldioxidflödena varierar över året till behovet av mellanlagring.

Arbetspaketets analyser har identifierat tre huvudsakliga regionala samverkansmöjligheter kring infrastrukturen: en hubb i Göteborg, en hubb i Malmö-Köpenhamn samt samverkan på Ostkusten i form av gemensamma fartygstransporter för ett antal anläggningar.

De lagringsalternativ som på kort sikt förefaller mest rimliga för svensk del är lagring i akvifärer och eventuellt uttömda olje- och gasfält i Nordsjön. Dialogen inom arbetspaketet visar dock att det finns ett stort intresse för och förhoppning om en framtida möjlighet till koldioxidlagring på svenskt territorium, framförallt för att säkra upp lagringskapacitet.

Analyserna inom AP3 visar vidare att det återstår vissa legala barriärer för att realisera bio-CCS som en klimatåtgärd, både på internationell och på EU-nivå men också inom svensk lagstiftning. Bland deltagande aktörer har det främst uttryckts en oro kring risken för långa handläggningstider och utdragna tillståndsprocesser.

En annan central fråga har handlat om hur man ska hantera ansvaret för koldioxiden längs med infrastrukturkedjan och huruvida en tredjepartsaktör kan ta över delar av ansvaret. Här menar EU i dagsläget att ansvaret för eventuella koldioxidläckage längs hela infrastrukturkedjan ligger på anläggningsägaren, fram till dess att koldioxiden lastats av vid slutlagringsplatsen. I Fit for 55-paketet från juli 2021 föreslår EU-kommissionen dock en förändring som innebär att den som ansvarar för transporten också ska ansvara för utsläpp längs transportkedjan.

Nyckelord

Bio-CCS, CCS, infrastruktur, koldioxidtransport, koldioxidlagring, kluster, samverkan, negativa utsläpp

Summary

Effective infrastructure for transport and storage of carbon dioxide will be a prerequisite for realising bio-CCS as a climate mitigation measure. Cooperation around the infrastructure for transport and storage of carbon dioxide is probably crucial for reducing the costs for individual companies.

This report describes the results of work package 3 within the research project *Bio-CCS i fjärroärmesektorn (Bio-CCS in the District Heating Sector)*. The overall purpose of work package 3 has been to illustrate how the infrastructure for transport and storage of carbon dioxide can be coordinated and gradually expanded in collaboration between district heating companies and other sectors and actors.

There are potentially large volumes of carbon dioxide in Sweden that can be captured, transported and stored. The main incentive for collaboration around the infrastructure for transport and storage is to reduce the costs for the participating actors. Many factors affect whether it is cost-effective to cooperate or not, the most important factor being the carbon dioxide volume. Larger volumes reduce the cost, both in terms of liquefaction and / or compression of the carbon dioxide as well as transport to storage. Other factors are type of transport, distance from the facility to the port and final storage site, the number of phase transitions needed, the number of operating hours and variation of carbon dioxide flows and the need for intermediate storage.

Three main regional infrastructure collaboration clusters have been identified; a hub in Gothenburg, a hub in Malmö-Copenhagen and joint ship transports from the East Coast to storage sites.

The most reasonable storage alternatives at least in the short term are storage in aquifers and possibly depleted oil and gas fields in the North Sea. The dialogue within the work package shows, however, that there is great interest in and hope for a future opportunity for carbon dioxide storage on Swedish territory, above all to secure storage capacity.

The analyses further show that there are certain legal barriers to realising bio-CCS as a climate mitigation option, both at international and EU level but also within Swedish legislation. Among participating actors, concerns have mainly been expressed about the risk of protracted administration and permit processes.

Another recurring question in the project has been the responsibility for the carbon dioxide along the infrastructure chain and whether a third-party actor can take over parts of the responsibility. The EU Commission currently believes that the responsibility for any carbon dioxide leakage along the entire infrastructure chain lies with the owner of the installation, until the delivery at the final storage site. However, as part of the EU Fit for 55 package from July 2021, the EU Commission has proposed a change meaning that the actor responsible for the transport of the carbon dioxide should also be responsible for any leakage during the transport.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.1.1	Bakgrund till AP3	9
1.2	De övergripande målen för AP3	10
1.3	Metod	10
1.3.1	Kartläggning av utsläppskällor samt viktiga frågeställningar	11
1.3.2	Dialogplattform	12
1.3.3	Analyser och översiktlig kunskap om aktuella lagar och regelverk	12
1.4	Systemgräns för analyserna	13
1.5	Organisation	13
2	Drivkrafter och utmaningar för samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid	14
3	Potential för samverkan baserat på tillgängliga volymer koldioxid	16
4	Vem har ansvar för koldioxiden?	18
5	Beskrivning av infrastrukturkedjan för hantering, transport och mellanlagring av koldioxid	19
5.1	Förvätskning	19
5.2	Mellanlagring	20
5.2.1	Erfarenheter från CinfraCap	20
5.3	Transport av koldioxid	21
5.3.1	Transport med fartyg	22
5.3.2	Transport på land: tåg, lastbil eller rörledning	22
5.4	Utskeppning	23
5.5	Sammanfattningsvis: Olika transportslag har sina fördelar respektive nackdelar	23
6	Slutlagring	26
6.1	Lagring i akvifärer	27
6.2	Lagring i uttömda gas- och oljefält (utan kolväteutvinning)	28
6.3	Lagring genom mineralisering i basalter	28
6.4	Översikt över lagringsalternativ i Sveriges närhet	30
6.5	Sammanfattningsvis: geologisk lagring i nordsjön – mest rimligt på kort sikt	31
7	Kostnader för infrastruktur	33
8	Kluster för samverkan	38
8.1	Utsläpp av koldioxid och urval av kluster	38
8.2	Kostnadsfördelar vid samverkan	42
8.2.1	Förvätskning	42
8.2.2	Transport	43
8.2.3	Lagring	43

8.3	Kluster Ostkusten/Mälardalen	44
8.3.1	Beskrivning av kluster	44
8.3.2	Kostnadsberäkningar kluster Ostkusten/Mälardalen	44
8.4	Kluster Gävle	48
8.4.1	Beskrivning av kluster	48
8.4.2	Kostnadsberäkningar kluster Gävle	48
8.5	Kluster Västkusten/Vänern	51
8.5.1	Beskrivning av kluster	51
8.5.2	Kostnadsberäkningar kluster Västkusten/Vänern	52
8.6	Kluster Skåne/Danmark	55
8.6.1	Beskrivning av kluster	55
8.6.2	Kostnadsberäkningar kluster Skåne/Danmark	55
9	Sammanfattande slutsatser om de identifierade klustren	59
9.1	Många faktorer inverkar på om det är lönsamt att samverka eller inte	59
9.2	Specifika förutsättningar för de identifierade klustren	60
10	Miljötilståndsförådrågor kopplat till infrastrukturkedjan för bio-CCS	63
11	Sammanfattande slutsatser	65
12	Referenslista	67
13	Bilagor	69
Bilaga A:	Enkät	70
Bilaga B:	Miljötilstånd i kedjan för bio-CCS	72

1 Inledning

Effektiv infrastruktur för transport och lagring av koldioxid kommer att vara en förutsättning för att realisera bio-CCS som klimatåtgärd. Eftersom det handlar om betydande investeringar för enskilda företag är samverkan kring infrastrukturen, både mellan fjärrvärmeföretagen men också tillsammans med andra industrier och aktörer, sannolikt avgörande för utbyggnad av infrastrukturen.

1.1 BAKGRUND

Denna rapport utgör en av flera delrapporter från projektet *Bio-CCS i fjärrvärmesektorn*. Projektets huvudmål är att ta fram underlag till och utveckla en strategi för hur fjärrvärmesektorn med hjälp av avskiljning och lagring av biogen koldioxid kan bli en kolsänka till år 2045. Strategin bygger på forskning i projektet som studerar affärsmässiga förutsättningar (AP1), teknik och systemintegration (AP2), infrastruktur och samverkan (AP3), acceptans och regelverk (AP4), hållbarhet (AP5) och avfalls-CCS (AP6). Projektet omfattar även syntes och helhetsbedömning (AP7) samt framtagande av strategi (AP8). En övergripande analys av CCU har också genomförts.

Bakgrunden till projektet är Sveriges klimatpolitiska mål att senast år 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären för att därefter nå nettonegativa emissioner. Avskiljning och lagring av koldioxid med biogent ursprung, så kallad bio-CCS eller BECCS, kommer sannolikt att krävas för att uppnå målen. Fjärrvärmesektorn står för en stor andel av Sveriges biogena utsläpp och har stort potential att bidra med minusutsläpp genom bio-CCS och många företag har konkreta planer. Branschen har också som vision att år 2045 vara en kolsänka som hjälper till att minska de totala svenska växthusgasutsläppen.

1.1.1 Bakgrund till AP3

En effektiv infrastruktur för transport och lagring är en förutsättning för att realisera bio-CCS. Samverkan kring infrastruktur både mellan fjärrvärmeföretag och med andra industrier är sannolikt också avgörande för utbyggnaden av bio-CCS i syfte att minska de totala kostnaderna för dessa investeringar. Ett flertal biobränsleeldade kraftvärmeverk ligger längs den svenska kusten, vilket underlättar utbyggnaden av infrastruktur och skapar förutsättningar för samlokalisering. Goda logistiska förutsättningar gör investeringar i infrastruktur mer attraktiva och ökar effektiviteten för bio-CCS som klimatåtgärd, inte minst vad gäller minskade kostnader men även utsläpp från transport av koldioxiden till slutlagring.

En avgörande fråga är även ekonomin för lagring av koldioxid på kort och lång sikt. Stor lagringspotential och erfarenhet finns i Norge, som Klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) bedömde vara det mest realistiska alternativet. Det kan även finnas möjligheter i Danmark, Nederländerna och Storbritannien och utredningen anser att möjligheter för eventuell lagring i Sverige bör utredas vidare. Risken, framförallt den ekonomiska, med att förlita sig på lagring i ett enda

land eller hos en enda aktör har vid ett flertal tillfällen lyfts av vägvals-utredningens expertgrupp och av fjärrvärmeföretag inom ramen för detta projekt.

Det har redan gjorts mycket arbete kring transport och lagring av koldioxid både avseende kostnader och integrerade system. Det som bland annat fattas är dock detaljerade studier av specifika system och deras praktiska genomförbarhet för fjärrvärmesektorn. Projektet har därför identifierat ett behov av ytterligare analyser kring frågor som rör infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid, inte minst utifrån deltagande företags perspektiv och behov.

1.2 DE ÖVERGRIPANDE MÅLEN FÖR AP3

Det övergripande syftet med arbetspaket 3 har varit att visa hur infrastrukturen för transport och lagring kan samordnas och successivt byggas ut i samverkan mellan fjärrvärmeföretagen och andra sektorer.

Målen med arbetspaketet har varit att:

- Identifiera fjärrvärmeanläggningar lämpliga för bio- och avfalls-CCS och närheten till andra potentiella industrier med intresse av koldioxidinfångning, avskiljning och lagring.
- Identifiera infrastrukturalternativ (transport och lagring) från svenska fjärrvärmeverk
- Beskriv möjligheterna för hur infrastrukturen kan byggas ut och samordnas med andra sektorer och aktörer.
- Göra en första ansats att beräkna kostnaden för infrastruktur, transport och lagringsalternativ
- Presentera förslag till tidslinje för utbyggnad av infrastrukturen

Dessutom tillkom under arbetet med att få projektet på plats önskemål om att även belysa vissa juridiska frågor kopplade till infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid samt specifika frågor om tillståndprocesser för anläggningar inklusive status på internationella regelverk för att kunna realisera bio-CCS som en klimatåtgärd. Projektet valde att inkludera dessa frågor som en del i AP3.

1.3 METOD

Arbetspaket 3 har bestått av flera delar och olika typer av analyser i syfte att besvara målen med arbetspaketet.

Översiktligt har arbetet handlat om att:

1) Kartlägga och identifiera anläggningar som i dagsläget är aktuella/har planer för bio- och/eller avfalls-CCS för att identifiera och föreslå potentiella regionala kluster för samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid. Här har ingått en genomlysning av befintliga punktkällor i Sverige med biogen och fossil koldioxid samt en GIS-analys för att identifiera avstånd till hamnar för utskeppning samt tillgång/närhet till järnvägs- och väginfrastruktur. Se mer under 2.3.1.

2) **Etablera kontakt och föra dialog med andra aktörer** kring möjligheterna för samverkan om de potentiella möjligheterna till samverkan kring infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid. Dialogen har skett genom intervjuer, seminarier på olika tema samt workshops för respektive identifierade regionala kluster för samverkan (se mer under 2.3.2).

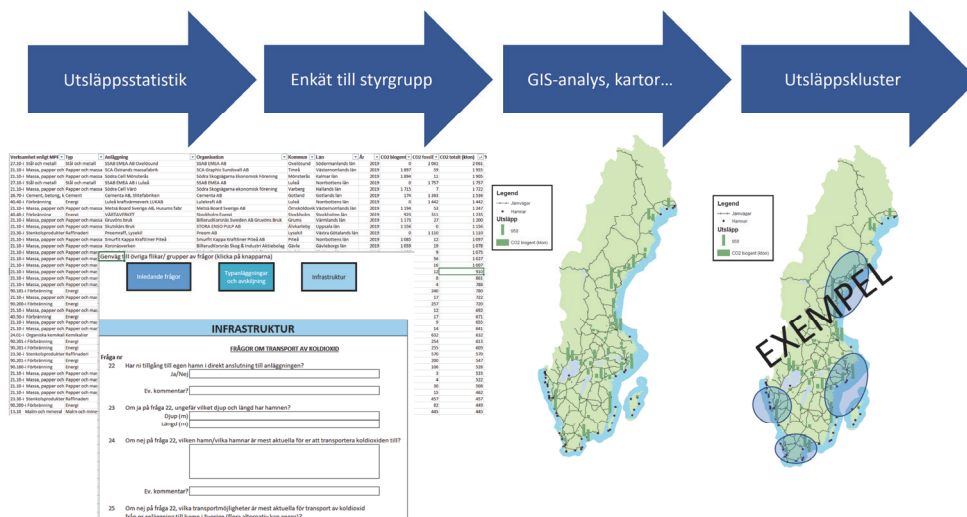
3) **Analysera och beräkna kostnader** för att lyfta potentiella fördelar och möjliga hinder med samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid (se mer under avsnitt 7 samt 8).

Analyserna inom arbetspaketet har baserats dels på befintlig kunskap och genomförda och pågående andra projekt rörande CCS-infrastruktur hos deltagande forskare, dels på litteraturstudier och intervjuer med expertis utanför projektets forskargrupp.

1.3.1 Kartläggning av utsläppskällor samt viktiga frågeställningar

I syfte att kunna föreslå ett antal potentiella regionala samverkanskluster för CCS-infrastruktur genomfördes initialt en kartläggning och GIS-analys för att identifiera större punktkällor för koldioxid (biogen och fossil) från svenska anläggningar (både energi-, avfalls- och industribolag) samt tillgång till hamn- och järnvägsinfrastruktur. Dessutom skickades en enkät ut till styrgruppen och deltagande företag för att kartlägga vilka företag som har aktuella planer för bio- och/eller avfalls-CCS samt hur företagen ser på tillgång till hamnar och annan infrastruktur (i bilaga A redovisas de enkätfrågor som skickades ut).

Metodiken visas översiktligt i Figur 1.



Figur 1 Metodiken för kartläggning av större utsläppskällor för koldioxid med det övergripande syftet att föreslå ett antal regionala samverkanskluster för vidare analys av potentialen för samverkan.

Utifrån kriterier som utsläppstorlek, närhet till andra anläggningar med större utsläpp, avstånd/närhet till hamnar eller järnvägsinfrastruktur landade vi i ett antal potentiella samverkanskluster att analysera vidare vad gäller kostnader och faktisk potential för samverkan. För mer om metodiken, se avsnitt 8.1.

En första workshop genomfördes också för att identifiera och lyfta fram kunskapsluckor och prioriterade frågeställningar hos arbetspaketets referensgrupp.

1.3.2 Dialogplattform

Som en del i arbetspaketet och med syfte att tillsammans identifiera och diskutera identifierade frågeställningar samt samverkansmöjligheter kring effektiv infrastruktur bjöds ett antal olika relevanta företag, forskare och andra aktörer in till diskussion med arbetspaketets referensgrupp. Dessutom genomfördes ett antal intervjuer med myndigheter, industrier, hamnar och annan expertis inom området för att ytterligare identifiera potentiella barriärer och nyckelfrågor inom området.

Under våren 2021 genomfördes fyra workshops med inbjudna talare på fyra olika temaområden: 1) Hantering och mellanlagring av koldioxid, 2) Transportlösningar, 3) Slutlagring av koldioxid samt 4) Legala aspekter kopplade till miljötillstånd (se Figur 2).

Som en sista del i arbetet inom arbetspaketet genomfördes i juni samt augusti totalt fyra stycken workshops, ett för respektive identifierade potentiella regionala samverkanskluster som pekats ut som möjliga i arbetspaketets genomförda analyser. Vid varje klustermöte bjöds utvalda externa aktörer inom respektive klusterregion in till förutsättningslösa diskussioner om potentiella samverkansmöjligheter samt de eventuella förutsättningarna och utmaningarna kopplade till detta.

1.3.3 Analyser och översiktlig kunskap om aktuella lagar och regelverk

Inom ramen för arbetspaket 3 gavs även i uppdrag åt dels IVL Svenska Miljöinstitutet, dels Linköpings universitet att övergripande utreda frågeställningar kopplade till regelverk och lagstiftning som påverkar möjligheterna till infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid.

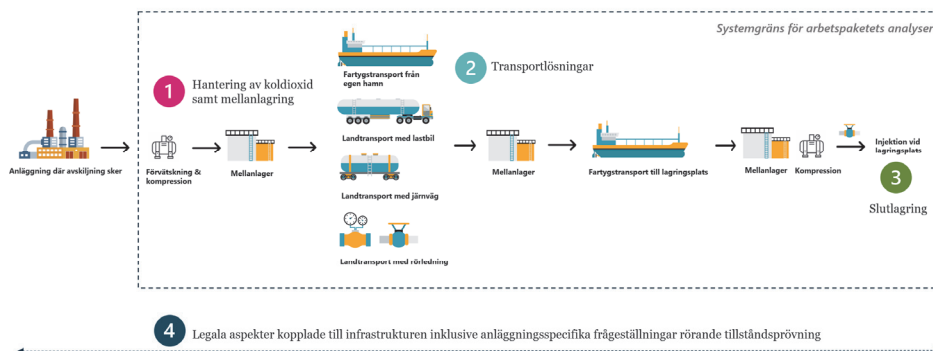
Forskare vid IVL Svenska Miljöinstitutet analyserade frågor kring tillståndsplikt och tillståndprocesser genom hela bio-CCS-kedjan. Det handlade främst om att identifiera och analysera kunskapsluckor och osäkerheter som lyfts av företagsaktörerna i projektet. Resultat av dessa analyser redovisas övergripande i föreliggande rapport, dessutom finns utredningen i sin helhet som Bilaga B till rapporten, där också metodik för analyserna beskrivs.

Forskare vid Linköpings universitet genomförde i sin tur en sammanställning av de internationella lagar och regelverk som kan bli aktuella att förhålla sig till för verksamhetsutövare inom bio-CCS gällande avskiljning, transport till lagringsplats samt avtalsreglering mellan Sverige och lagringsstat via så kallade bilaterala avtal. Sammanställningen återfinns i delrapporten för AP4 (Fridahl m.fl. 2021).

1.4 SYSTEMGRÄNS FÖR ANALYSERNA

Systemgränsen för analyserna i AP3 sträcker sig från det att koldioxiden fångats in och avskilts vid anläggningen till dess att den injekteras vid slutlagringsplats¹. Figur 2 beskriver systemgränsen och de delar av infrastrukturkedjan som har ingått.

Infrastrukturkedjan för transport och lagring av koldioxid



Figur 2 Systemgränsen för arbetspaketets analyser sträcker sig från det att koldioxiden fångats in och avskilts vid anläggning fram till injektion vid slutlagringsplats¹. I figuren är markerat de delar i analyserna för vilka arbetspaketet har genomfört workshops på olika tema, se avsnitt 1.3.2. Som framgår av figuren har systemgränsen för delen om legala aspekter kopplat till infrastrukturen även inkluderat anläggningsspecifika frågeställningar.

1.5 ORGANISATION

Arbetet inom AP3 har genomförts av forskare på Profu, Chalmers, IVL Svenska Miljöinstitutet samt Linköpings universitet i nära samverkan med en särskild referensgrupp från deltagande fjärrvärmeföretag samt inbjudna externa aktörer som bjudits in till dialogplattformen kopplad till arbetspaketet. Arbetsprojektets projektgrupp vill här passa på att tacka referensgrupp samt deltagande externa företag och aktörer för mycket värdefulla inspel och kunskap till arbetspaketet och projektets analyser.

¹ Vad gäller kostnadsanalyserna sträcker de sig dock endast fram till terminalen i Kollsnes (för vidare lagring genom Northern Lights).

2 Drivkrafter och utmaningar för samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid

Det övergripande syftet med detta arbetspaket har varit att utreda hur infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid kan samordnas och byggas ut i samverkan med andra aktörer. En stor tyngdpunkt i detta AP har därför legat på dialogen mellan deltagande företag och externt inbjudna aktörer i form av industrier, andra energibolag, hamnar och logistikaktörer. Det har varit ett stort intresse hos de externa aktörerna till att medverka i dialogen inom arbetspaketet, vilket tyder på att det finns ett stort behov att samlas för att tillsammans identifiera och diskutera gemensamma frågeställningar, utmaningar och kunskapsbehov kring infrastrukturen och hur aktörer kan samverka praktiskt för att lösa detta.

I diskussionerna i arbetspaketet har deltagande aktörer lyft en rad utmaningar för att få infrastrukturen för bio-CCS till stånd. Det handlar förstas om den stora kostnaden för de olika delarna av infrastrukturen, med kostnader för fartyg, tågagnar och rörinfrastruktur, hamninfrastruktur och tankar för mellanlagring.

Även ekonomi för lagring är en viktig fråga och utmaning. Stor lagringspotential och erfarenhet finns i Norge, men möjligheter kan även finnas i Storbritannien, Nederländerna och Danmark. Hur de potentiella förutsättningarna för lagring inom Sveriges gränser ser ut och eventuellt kan realiseras är också en fråga där samverkan mellan aktörer och stat kommer att bli nödvändig.

Eftersom det handlar om betydande investeringar för enskilda företag är samverkan kring infrastrukturen, både mellan fjärrvärmeföretag och tillsammans med andra industrier och aktörer, sannolikt avgörande för utbyggnad av infrastrukturen. Utmaningarna handlar också om hur väl olika anläggningars CCS-planer tajmar med varandra samt hur koldioxidflödena matchar över året mellan olika anläggningar. Men även tiden det tar för att bygga upp infrastrukturen för logistikdelarna av bio-CCS-kedjan. Här spelar även tiden för tillståndprocesser för anläggningar och hamnar/mellanlager men också detaljplanefrågor och tillstånd för olika delar av logistikkedjan. Även behovet av eleffekt för själva bio-CCS-anläggningarna är en fråga eftersom det i vissa delar av landet finns kapacitetsbrister i nätet. Tiden det tar att öka kapacitet i elnäten och bygga ut är idag lång, även om man nu arbetar med att förkorta tiden och underlätta tillstånd och utbyggnad. Det handlar också om att hitta lämpliga affärsmodeller för samverkan och för att t.ex. tredjepartsaktörer kan underlätta logistikkedjan.

Samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid kan därför ske på olika nivåer och utifrån olika drivkrafter. Dels kan det handla om att aktörer har ett behov av och ser ett stort värde i att samlas och gemensamt identifiera knäckfrågorna och de utmaningar som behöver lösas, och tillsammans verka för att lyfta dessa för att kunna realisera investeringar och/eller samarbeten. Dels kan det

handla om samverkan kring praktiska delar i infrastrukturredjan, t.ex. att identifiera lämpliga, gemensamma utskeppningshamnar eller att undersöka de potentiella förutsättningarna för lagring av koldioxid inom svenskt territorium.

Huruvida samarbeten till slut kommer att realiseras är dock en öppen fråga, eftersom det främsta incitamentet för samverkan troligtvis kommer handla om att identifiera samarbeten som innebär minskade kostnader för deltagande aktörer, jämfört med att aktörer på egen hand löser infrastrukturen kopplat till transport från enskilda anläggningar.

Goda logistiska förutsättningar gör investeringar i infrastruktur mer attraktiva, och ett flertal fjärrvärmeverk och industrier med stora koldioxidutsläpp ligger längs den svenska kusten, vilket underlättar utbyggnad av infrastruktur och skapar förutsättningar för samarbeten.

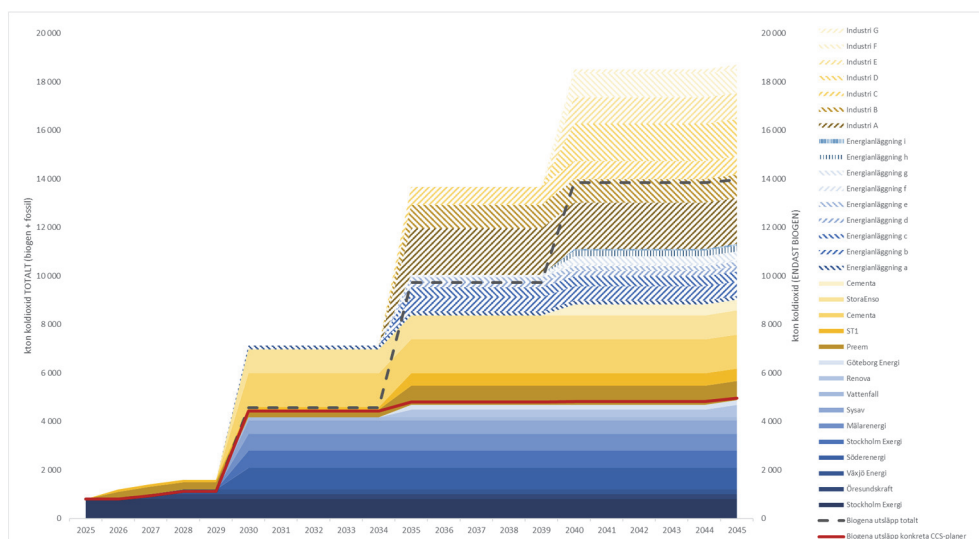
Av de diskussioner som har förts inom arbetspaketet mellan fjärrvärmeföretagen och de externa aktörer som har bjudits in till dialog är det tydligt att intresset för samverkan generellt är stort. Initialt handlar det om en vilja att kunna samlas och få upp frågorna på bordet och utifrån det identifiera gemensamma problem att lösa och synergier att identifiera och realisera. Diskussionerna har visat på att viljan finns till samverkan mellan svenska aktörer, men att man ser flera utmaningar eftersom det ännu finns stora osäkerheter på olika nivåer kring bio-CCS-kedjan. En fråga som har lyfts vid mer än ett tillfälle är risken för att man istället blir konkurrenter, t.ex. om stödpengar, lagringsplatser och auktionssystem. Det handlar också om olika aktörers skilda drivkrafter och incitament, olikheter i värdekedjan hos olika typer av verksamheter och inte minst tidplaner som ska synkas i flera led för att få hela kedjan på plats.

3 Potential för samverkan baserat på tillgängliga volymer koldioxid

Ett flertal anläggningar, både inom fjärrvärmesektorn och andra branscher, har idag mer eller mindre konkreta planer på att avskilja och lagra koldioxid. Det gäller såväl koldioxid av biogent som fossilt ursprung. I projektet har vi analyserat hur olika anläggningars planer ser ut över tid, eftersom det är större sannolikhet att samverkansfördelar realiserar om planerna matchar i tid.

Utifrån kartläggningen av befintliga utsläppskällor och identifierade anläggningar med planer för infångning och avskiljning av koldioxid i de fyra utpekade möjliga regionala samverkansklustren har ett antal "tidslinjer" tagits fram för att peka på potentialen för samverkan baserat på potentiella tillgängliga volymer biogen och fossil koldioxid.

I Figur 3 redovisas ungefärliga uppskattade tidslinjer och koldioxidvolymer (både biogen och fossil) som skulle kunna vara tillgängliga för CCS. Figuren visar både fjärrvärmeanläggningar och andra industriella anläggningar samt såväl anläggningar med konkreta planer på CCS som anläggningar utan konkreta planer. Samtliga anläggningar har geografisk koppling till minst ett av de identifierade fyra regionala samverkansklustren. Tidslinjen ska endast ses som exempel på tänkbara koldioxidvolymer för CCS.



Figur 3 Ungefärliga uppskattade tidslinjer för olika anläggningars planer på CCS samt mängden koldioxid (totalt samt biogen respektive fossila mängder) för ytterligare anläggningar i de studerade regionala samverkansklustren. Blå fält avser energianläggningar och gula industriella anläggningar. Skuggade fält visar exempel på några tänkbara ytterligare anläggningar som skulle kunna ansluta till respektive kluster, men som idag ej har uttalade planer på CCS. Tidslinjerna ska ses som en illustration och inte någon exakt potential. Den röda linjen visar biogen koldioxid i konkreta planer och den streckade grå biogen koldioxid för samtliga anläggningar. Andel biogen koldioxid baseras på dagens utsläpp, bedömning görs alltså inte över tänkbar förändrad sammansättning på utsläpp från respektive anläggning.

Uppskattningarna har genomförts i samarbete med de deltagande företagen vid respektive klustermöte och ska endast ses som indikationer på den maximala tillgängliga volymen koldioxid som potentiellt skulle kunna fångas in för att lagras (eller användas för CCU). Tidslinjerna ger dock en indikation på när i tiden behovet av CCS-infrastruktur uppstår och när i tiden kapaciteten i infrastrukturen måste utökas.

Tidslinjerna för respektive kluster presenteras i avsnitt 8 nedan.

4 Vem har ansvar för koldioxiden?

En central och återkommande fråga i projektet handlar om hur man ska hantera ansvaret för koldioxiden längs med infrastrukturkedjan.

Enligt gällande EU ETS-direktiv godkänns avdrag för de koldioxidutsläpp som fångas in och transporteras för lagring, men "transport" definieras som transport med rörledning. EU-kommissionen (2020) har dock i kommunikation med Norges Klima och Miljödepartement (2019) bekräftat att transport med fartyg och lastbil är att likställa med transport i rörledning. I samma kommunikation indikerade också kommissionen att ansvaret för utsläpp under transporten fram till mellanlagringsterminal i Norge ligger på anläggningen där infångningen skedde. Den svenska regeringen har tolkat kommissionens svar till norska regeringen som att transport av koldioxid med lastbil och fartyg ska likställas med transport via rörledning. Man har dock lyft vikten av att EU:s revision av EU ETS bör förtydliga detta (Regeringskansliet, personlig kommunikation Jan Kjærstad, december 2020).

Den 14 juli 2021 lade EU som en del av Fit for 55-paketet fram ett förslag till revidering av EU ETS. I förslaget ska utsläppen av koldioxid längs med transportkedjan fram till slutlagring ingå i EU ETS förutsatt att emissionerna inte räknas in under någon annan aktivitet i CCS-direktivet (Direktiv 2009/31/EC). I förslaget bekräftas att transport med annat medium än rörledning såsom exempelvis fartyg och lastbil skall accepteras ("*transport of greenhouse gases for the purpose of storage should be extended to all means of transport*"). Förslaget förtydligar även att ansvaret för utsläppen av koldioxid under transporten ska ligga hos den som ansvarar för transportererna och inte den som äger/driver infångningsanläggningen (EU Kommissionen, 2021)².

Dock innebär föreslagna revideringar i EU ETS ingen förändring vad gäller förståelsen för när anläggningsägaren kan tillgodoräkna sig den lagrade koldioxiden. Anledningen till detta är att MRR-förordningens artikel 49 fortfarande hänvisar till att CO₂-kvoter kan dras av först när koldioxid överförs från anläggningen till ett transportnät i syfte att lagras i en geologisk formation under lång tid i ett lager som är godkänd enligt CCS-direktivet (Direktiv 2009/31/EG). CCS-direktivet definierar fortfarande ett transportnät på ett sätt som endast omfattar rörledningar för koldioxidtransport till lagringsplatsen.

Så länge som definitionen av CO₂-transportnät inte revideras i CCS-direktivet, kommer infångningsanläggningen inte tillåtas att subtrahera den CO₂ som fångas upp förrän den har levererats vid mottagande terminal vid slutlagringsplatsen, dvs. infångad koldioxid minus den koldioxid som har läckt ut under transport och omlastning. Detta kan emellertid ändå lösas genom ett kontrakt mellan utsläppare och transportör.

² EU-kommissionen COM (2021) 551 Final. 2021/0211 (COD), daterad 14 juli, 2021.

5 Beskrivning av infrastrukturkedjan för hantering, transport och mellanlagring av koldioxid

Infrastrukturkedjan för att transportera den infångade och avskilda koldioxiden består av flera delar. Systemgränsen för arbetspaketets analyser sträcker sig från det att koldioxiden fångats in och avskilts vid anläggningen fram till dess att den injekteras i slutlagret. I detta avsnitt beskrivs delarna kring hantering, mellanlagring och transport av koldioxid från anläggning till terminal vid lagringsplats. Det kan även finnas andra alternativ, men de som beskrivs bedöms som mest rimliga för svenska fjärrvärmeanläggningar.

5.1 FÖRVÄTSKNING

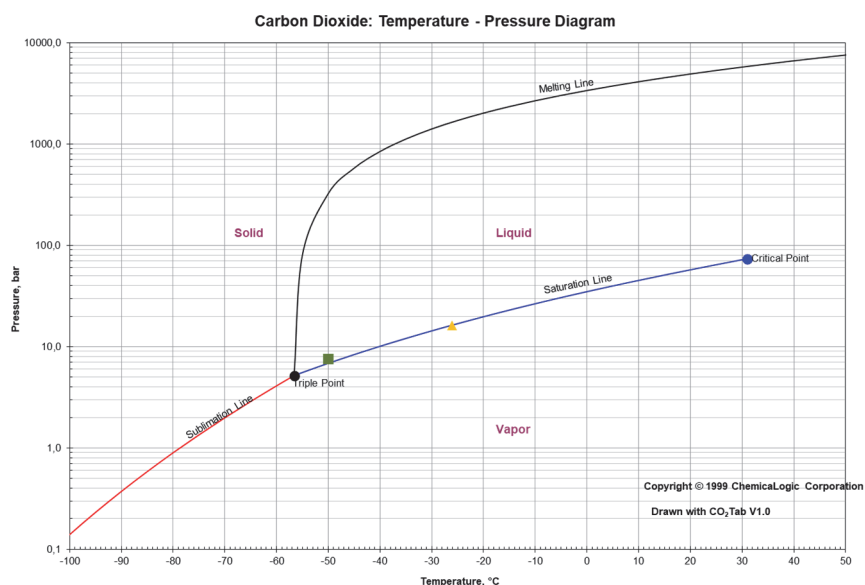
Efter att koldioxiden avskilts från en anläggning behöver den i de flesta fall förvätskas för efterföljande transport.

Förvätskning sker genom att koldioxiden komprimeras och kyls till lämpligt tryck och temperatur. Kraven för mottagande av koldioxid enligt Northern Lights (se vidare avsnitt 6.4) är i den första fasen att koldioxiden vid ankomst till hamn i Norge ska ha ett tryck om ca 16 bar³ och en temperatur på ca -25°C. Detta är markerat som en gul triangel i fasdiagrammet för koldioxid (se Figur 4). Northern Lights har senare aviserat att de kan komma att öppna upp för andra tryck- och temperaturnivåer i en senare fas. Om koldioxidens temperatur och tryck ligger nära den så kallade mättnadslinjen ("saturation line" i Figur 4) räcker det med en liten temperaturökning eller tryckförlust för att viss del av koldioxiden ska övergå till gasfas. Därför underkyls ofta koldioxiden något.

Komprimering och nedkylning av koldioxid är mycket energikrävande. Beräkningar inom projektet CinfraCap (2021) visar på ett energibehov på ca 40-60 kWh/ton CO₂⁴. Till detta kommer även ett kylbehov på omkring 170 kWh/ton CO₂. Enligt samma projekt står även förvätskning och mellanlagring för en stor del av investeringskostnaderna (ca 30-35%).

³ 15 barg, dvs 15 bar över atmosfärstryck.

⁴ Detta avser separat förvätskning (inkl. mellanlagring och export) för respektive anläggning som ingått i CinfraCap.



Figur 4 Fasdiagram för koldioxid. Grön prick visar vanliga temperatur- och tryckförhållanden vid fartygstransport av koldioxid och gul prick de förhållanden som Northern Lights valt. Källa: ChemicalLogic (nedladdad 2021-08-11).

5.2 MELLANLAGRING

Mellanlager kan behövas i flera delar av kedjan – mellan förvätskning och transport, mellan olika transportslag samt innan injektering i slutlagret. Det finns olika typer av lösningar för mellanlager, t.ex. sfäriska och cylindriska tankar, stålbeklädda berggrum m.m. Storlek anpassas efter aktuell tillämpning. Mellanlagret ska kunna hålla koldioxiden vid rätt temperatur och tryck och behöver kunna hantera både eventuella ökning och minskningar i tryck. Som nämnts ovan (se avsnitt 5.1) bedömer projektet CinfraCap att förvätskning och mellanlager (innan transport) står för så mycket som 30-35% av investeringskostnaden. Till detta kommer sedan behov av mellanlager senare i kedjan (t.ex. mellan transportsteg och innan injektering).

5.2.1 Erfarenheter från CinfraCap

CinfraCap är ett samverkansprojekt som har drivits från maj 2021 till april 2021 mellan Göteborgs Hamn, Göteborg Energi, Preem, St1, Renova samt Nordion Energi med syfte att skapa förutsättningar för en effektiv distributionskedja av infångad koldioxid i Göteborgsregionen. Förstudien (COWI, 2021) som avrapporterades i april 2021 har bland annat undersökt möjligheter och kostnader för en tilltänkt CO₂-terminal med mellanlagring samt eventuell förvätskningsanläggning inom Göteborgs hamns område på Hisingen i Göteborg. Inom ramen för förstudien har man tagit fram förslag på hur den infångade koldioxiden lämpligast samlas in från respektive industri och transporteras ner till hamnen, hur mellanlagring innan lastning kan ske samt vilka tillstånd som måste tas fram. Man har även tittat på risker kopplat till projektet samt förslag på en affärsmodell för samverkan.

Ett antal viktiga aspekter att ta hänsyn till vid anläggande av en CO₂-terminal som CinfraCap har lyft listas nedan:

- Tillgänglig markyta inom befintligt eller ny del av hamnområde för mellanlagringstankar och ev. förvätskningsanläggning.
- Specifika markfrågor, t.ex. geotekniska markförhållanden och markföroreningar.
- Eventuell närhet till naturskyddsområden som kan hysa skyddade arter, vilket t.ex. kan påverka eventuell rörinfrastruktur som behöver dras till terminalen.
- Detaljplansförhållanden samt eventuella långsiktiga planer i och för området.
- Tillgängliga järnvägsspår alternativt potential för att kunna dra spår in till terminalen.
- Kortaste rörlängd från mellanlager till kajkant.
- Tillgängliga stödsystem i form av eleffekt, kylvatten, kvävgas m.m.
- Befintliga kajers beläggningsgrader. Inom förstudien nämns att den kaj som avses användas för CO₂-utlastning antas vara i stort sett helt dedikerad för detta ändamål, dvs. enbart logistikkedjan för CO₂-fartygen påverkar tillgängligheten för kajen. Tillgängligheten på kajen antas vara 90 % på årsbasis⁵.
- Vattendjup vid kajen (kopplar till fartygens djupgående samt huruvida det krävs tillstånd för muddring).
- Aktuell fartygslängd. Med fartygsstorlek sätts storleken på mellanlagret och valet av fartyg blir därmed dimensionerande för terminalens kapacitet.
- Risker och miljökonsekvenser kopplat till terminalen, t.ex. tryckavlastning, buller, lukt, utsläpp på grund av ökade transporter.
- Dominoeffekter som kan uppstå, t.ex. direkt eller indirekt påverkan på kringliggande verksamheter.

Parterna inom CinfraCap har ambitioner om att påbörja infångning av koldioxid från tidigast år 2025, med en successiv ökning fram till 2040 då man förväntar sig nå en volym på knappt 2 miljoner ton koldioxid/år. Den tilltänkta infrastrukturen vid hamnen är tänkt att vara öppen och tillgänglig för tredjepartsanslutningar.

5.3 TRANSPORT AV KOLDIOXID

När koldioxiden avskilts, förvätskats och mellanlagrats är nästa steg transport antingen direkt till lagringsplats eller via ett mellanlager, till exempel en hamn. Detta kan ske med fartyg, tåg, lastbil eller rörledning. Detta moment kan alltså omfatta flera olika transportsteg beroende på lokalisering av anläggningen där koldioxiden avskiljs.

Som lyfts av Romson & Steen (2021) kan koldioxid, även om den inte är namngivet som ett farligt ämne i Sevesodirektivet (2012/18/EU), på grund av sin hälsofara (kvävande) i starka koncentrationer, bli aktuell för särskilda hanteringsregler beroende på mängden som hanteras.

⁵ Tillgänglighetssiffran baseras på historiska uppgifter från Göteborgs hamn, där faktorer som väderförhållanden, planerat och icke planerat underhåll samt tillgång till personal spelar in.

Som nämns i 1.3.1 genomfördes initialt en enkät till projektets styrgrupp, där deltagarna bland annat fick frågan om vilka transportalternativ som man ser som mest troliga för transport från anläggning till utskeppningshamn i de fall man saknar tillgång till egen hamn. De flesta såg lastbilstransporter som mest troligt, därefter tåg respektive rör. Inställningen till transportslagen ändrades under arbetet med arbetspaketet och de aktörer som har längre till hamn ser nu i första hand framför sig tågtransport snarare än lastbil utifrån bland annat de kostnadsanalyser som har genomförts inom arbetspaketet.

5.3.1 Transport med fartyg

För anläggningar som ligger vid egen hamn är fartygstransport vanligtvis mest rimligt, åtminstone för de volymer och avstånd som är relevanta för svenska fjärrvärmelanläggningar. Detta förutsätter dock att tillräckligt stora fartyg kan anlöpa hamnen och farvattnet.

Tiden från design till färdigt fartyg ligger enligt uppgift på omkring två år, fler fartyg av samma design därefter byggs på kortare tid, omkring ett år per fartyg.

5.3.2 Transport på land: tåg, lastbil eller rörledning

Anläggningar med inlandsläge behöver transportera koldioxiden med antingen tåg, lastbil eller rörledning till en hamn för vidare fartygstransport⁶.

Rörledning innebär högre investeringskostnader men lägre driftskostnader än övriga transportslag. Beroende på längd och var rörledningen ska dras kan dock koncession krävas och det är inte troligt att rörledningar kommer att dras över större sträckor på land i Sverige (se bl.a. Johnsson & Kjärstad, 2019). Inom en anläggning, ett industriområde eller en hamn samt till havs kan det däremot vara aktuellt.

I projektet har vi analyserat transportmöjligheter kopplat till olika geografiska utsläppskluster och de specifika förutsättningar som finns där. Resultat för dessa analyser presenteras i kapitel 8. De alternativ som studerats är olika för de olika klustren och inkluderar tåg, fartyg, lastbil och rörledning.

Inom livsmedelsindustrin finns lång erfarenhet av transport av koldioxid med fartyg och lastbil. Järnvägstransporter med koldioxidtankar finns mycket mindre erfarenhet av. Figur 5 visar VTG:s kryogena tankar anpassade för järnväg, där lastvikten per tank ligger på 62 ton (54 m³)⁷.

⁶ Eller i vissa fall möjligen med rörledning till lagringsplats

⁷ Avser transport vid 7 bar/-50 grader Celsius då densiteten är 1,15 ton/m³.



Figur 5 VTG:s kryogena tankar anpassade för järnväg. Foto: VTG.

5.4 UTSKEPPNING

Med utskeppning avses här transporten av koldioxid från Sverige (vanligtvis en hamn) till site som erbjuder lagring. Utskeppningen kommer i de flesta fall ske med fartyg från en svensk hamn, åtminstone inledningsvis. Det norska projektet Northern Lights utformas exempelvis för att ta emot koldioxid från fartyg. Rörledning kan möjligen bli aktuellt i framtiden, till exempel om lagring kan bli aktuellt i akviferer utanför Själland eller i Skagerack. Arbetspaketet har främst antagit och analyserat utskeppning med fartyg till Norge, men har även tittat på transport i rörledning respektive fartyg till Danmark med efterföljande lagring där.

I fallet slutlagring i Norge genom Northern Lights är redan storlek på fartyg och tillstånd för koldioxiden i inledningsskedet fastställda. Varje fartyg är åtminstone i inledningsskedet designat för att transportera 7 500 m³ koldioxid vid 15 bar och ca -25°C. Vid diskussioner med aktörer bakom Northern Lights under projektets gång har dock framkommit att de även analyserar andra möjligheter, till exempel större fartyg.

5.5 SAMMANFATTNINGSVIS: OLIKA TRANSPORTSLAG HAR SINA FÖRDELAR RESPEKTIVE NACKDELAR

Skeppstransport sker i vätskefas vid låg temperatur. Det är flexibelt – i och med att fartygen kan flyttas mellan anläggningar och lagringsplatser/terminaler – och kostnadseffektivt för relativt moderata volym (1-2 Mt/år) över längre sträckor (>100 km). Fordrar två fasändringar (vid anläggningen och inför injektion) vilket kostar energi och fördyrar. Skeppstransport fordrar även mellanlager vilket höjer kostnaderna ytterligare. Branschen har lång erfarenhet av att frakta CO₂ i vätskefas inom livsmedelsindustrin.

I dagsläget saknas tillgång till förnybara fartygsbränslen på den kommersiella marknaden, även om det just nu sker stora satsningar på metanoldrivna fartyg hos

de stora rederierna. Dagens tilltänkta bränsle (LNG) bör på sikt ersättas med fossilfria alternativ.

Tågtransport sker i vätskefas vid låg temperatur. Tågtransport är helt beroende av spåranslutning men om den finns så kan tåg transportera relativt stora mängder (med svenska mått mätt, dvs åtminstone kring en miljon ton/år) snabbt och effektivt över längre sträckor (flera hundra km). Fordrar två fasändringar (vid anläggningen och inför injektion) vilket kostar energi och fördyrar. På samma sätt som skeppstransport så fordrar även tågtransport tillgång till mellanlager vilket höjer kostnaderna.

Svenska tågtransportörer har ingen erfarenhet av att frakta trycksatt koldioxid i vätskeform men däremot har de bred erfarenhet av att frakta kemiska produkter som t ex flygbränsle. Merparten av tågtrafiken i Sverige är idag elektrifierad, men det finns fortsatt behov av elektrifiering av tågtrafiken på t.ex. gods- och industrispår till hamnar och terminaler. Det sker dock idag stora satsningar på helelektrifiering av all logistik till/från flera av våra stora svenska hamnar.

Lastbilstransport sker i vätskefas vid låg temperatur. Det är flexibelt och särskilt användbart i områden med komplicerad omgivning (industriområden, städer) men endast relevant för mindre volymer på kortare sträckor. Även lastbilstransport fordrar två fasändringar (vid anläggningen och inför injektion) samt mellanlager vilket höjer kostnaderna. Branschen har stor erfarenhet av att frakta olika trycksatta och/eller kryogena gaser och vätskor. Dagens lastbilstransporter kan köras på bl.a. HVO och biogas och det sker dessutom en snabb utveckling vad gäller eldrivna lastbilar.





Rörtransport sker främst vid högt tryck i superkritisk fas dvs vid ca 73 bar. Rörtransport innebär investeringar i en fast infrastruktur men det är mycket kostnadseffektivt för stora volymer över relativt korta sträckor. Det fordras endast en fasomvandling (till superkritisk fas vid anläggningen) och inget mellanlager, dvs koldioxiden kan transporteras hela vägen från anläggningen och injekteras rakt in i reservoaren, vilket bidrar till den höga kostnadseffektiviteten. Rörtransport har en relativt hög energiförbrukning (el) vid kompressionen upp till superkritisk fas men i övrigt låg energiförbrukning och potential för låga CO₂-utsläpp (beroende på el-mixen).

Under mycket korta sträckor (några få kilometer), t ex inom industriområden från infångningsanläggning till förvätskningsanläggning (som t ex kan vara gemensam för flera närliggande anläggningar som i Cinfracap-projektet⁸), kan transport i gas- eller vätskefas vara fördelaktigt, bl a därför att det minskar behoven för omlastningar. Detta behöver emellertid utredas i varje enskilt fall.

I Tabell 1 sammanfattas fördelar och nackdelar med respektive transportslag.

⁸ <https://www.goteborgshamn.se/hamnens-projekt/cinfracap/>

Tabell 1 Fördelar och nackdelar med olika transportslag relevanta för transport av koldioxid i Sverige.

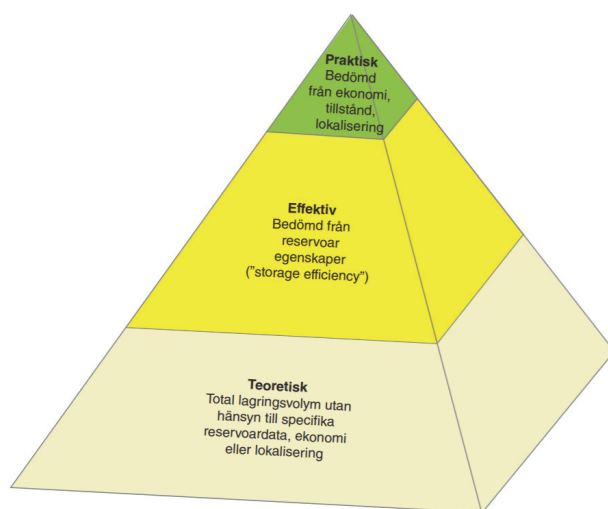
	CO ₂ -tillstånd under frakten	Sannolik tillämpning	Flexibilitet	CO ₂ frakterfarenhet	Antal fasomvandlingar	Behov av mellanlager	Nuvarande CO ₂ -utsläpp
Fartyg 	Som vätska vid lågt tryck och låg temperatur	Moderata volymer/långa avstånd	Hög	God	2	Ja	Hög
Lastbil 	Som vätska vid lågt tryck och låg temperatur	Små volymer/korta avstånd	Hög	Låg	2	Ja	Låg
Tåg 	Som vätska vid lågt tryck och låg temperatur	Moderata volymer/medel och långa avstånd	Låg	Ingen	2	Ja	Låg
Rör 	I superkritisk fas (samma som vid injektion i lagringsreservoaren)	Stora volymer/korta och medellånga avstånd	Låg	God	1	Nej	Låg

6 Slutlagring

Geologisk lagring av koldioxid i någon form utgör den sista delen i hela kedjan från avskiljning och infångning av koldioxid vid anläggning samt transport till lagringsplats. Globalt sett är den teoretiska lagringskapaciteten enorm. Den faktiska (effektiva) och praktiska lagringskapaciteten är däremot betydligt mindre och det finns dessutom en stor osäkerhet i storleken på denna.

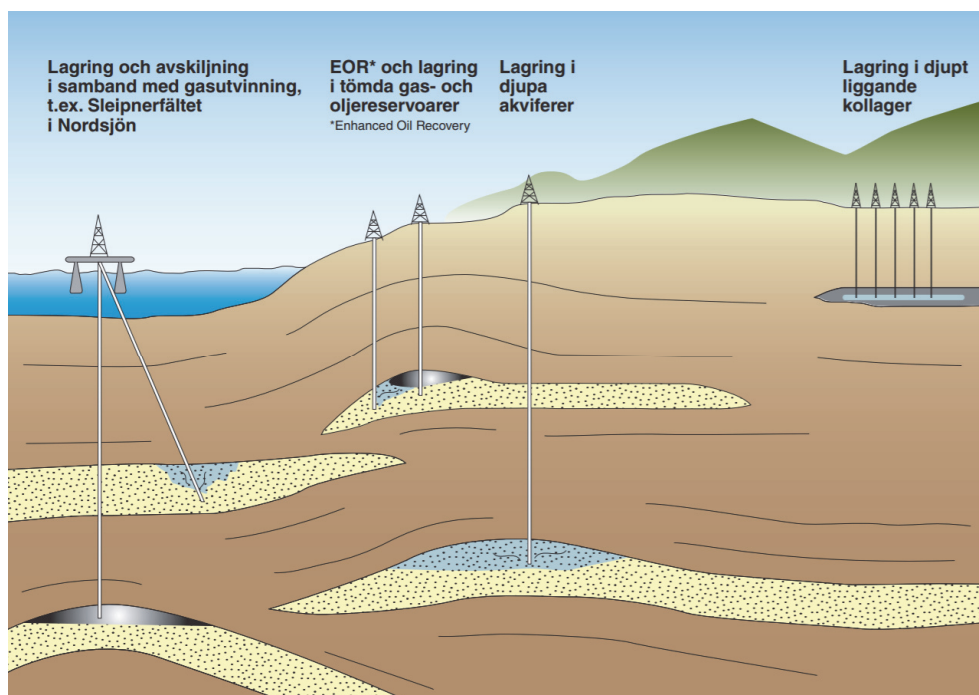
En rad faktorer spelar in som påverkar osäkerheten i potentialbedömningar av lagringskapaciteten, som t.ex. förekomst av förkastningar, heterogen berggrund, kemiska förhållanden, temperatur, formationstryck, bergsprängningar m.m. (Møl Mortensen m.fl., 2017). En mycket viktig faktor handlar om hur lätt det är att få ner koldioxiden vid en potentiell lagringsplats, dvs. den s.k. injektiviteten.

Den så kallade mognadspyramiden (Figur 6) visar de olika bedömningsnivåerna av potentialen för teoretisk, effektiv samt praktisk lagringskapacitet. Vid bedömning av lagringskapacitet inom en lagringsplats innebär högre mogenhet (uppåt i pyramiden) en högre lämplighet för injektering av koldioxid samtidigt som den tillgängliga lagringskapaciteten minskar (Møl Mortensen m.fl., 2017).



Figur 6 Mognadspyramid som visar på bedömningsnivåerna av potentialen för teoretisk, effektiv och praktisk lagringskapacitet. Figuren hämtad från Møl Mortensen m.fl., 2017, enligt rapporten modifierad från Bradshaw m.fl. 2007.

Det går att lagra koldioxid i olika typer av geologiska formationer. I Figur 7 visas en översikt över de lagringsmöjligheter (i sedimentär berggrund) som idag används (dvs. exklusive basaltlagring, se mer under avsnitt 6.3).



Figur 7 En översikt över olika lagringsmöjligheter i sedimentär berggrund. Bild är hämtad från SGU-rapport från 2017, Møl Mortensen m.fl., 2017 (enligt rapporten modifierad från Erlström, m.fl. 2011).

Det pågår nu ett antal stora projekt i framförallt Nordsjöområdet för att lagra koldioxid. Utöver detta finns även ett flertal planerade lagringsprojekt.

Det finns flera teoretiska möjligheter för lagring av koldioxid där lagring i akvifärer (se nedan) bedöms vara mest relevant i ett svenskt perspektiv. Lagring i uttömda olje- och gasfält samt i basalter kan vara andra möjligheter. I detta avsnitt beskrivs kortfattat lagring i akvifärer, uttömda gas- och oljefält samt i basalter. Utöver dessa alternativ finns även andra möjliga lagringsalternativ, såsom lagring i olje- och gasfält med utökad kolväteutvinning, lagring i kolfält samt i havet.

Mer information om olika lagringsalternativ finns i t.ex. Møl Mortensen m.fl. (2017), NORDICCS (2015), Johnsson & Kjærstad (2019).

6.1 LAGRING I AKVIFÄRER

Akvifärer är djupt liggande saltvattenfyllda formationer. De finns både under land och under hav. Faktorer som avgör om en akvifär är lämpad för koldioxidlagring är bland annat djup, porositet, genomsläpplighet för koldioxid (permeabilitet), och storlek. Dessutom behöver den ha en tillräckligt tjock och tät takbergart och ligga i områden med låg tektonisk aktivitet.

Koldioxiden lagras lämpligen i så kallat överkritiskt tillstånd, vilket optimerar mängden koldioxid som kan lagras. Överkritiskt tillstånd inträffar när trycket överskrider 73,8 bar och 31,1°C och koldioxidens egenskaper är då en blandning mellan vätska och gas. För att uppnå detta tillstånd behöver akvifären befinna sig

på minst 800 meters djup. När koldioxiden injekteras i en akvifär sker en långsam process där koldioxiden på olika sätt binds in i akvifären.

Akvifärer lämpliga för lagring av koldioxid finns i exempelvis Nordsjön, se vidare i avsnitt 6.4. Även på svenskt territorium finns akvifärer som potentiellt skulle kunna vara möjliga för koldioxidlagring. Det krävs dock en hel del kompletterande undersökningar, data, testinjekteringar och pilotprojekt innan lagringspotentialen kan bedömas med större säkerhet. Utöver detta finns även legala hinder som måste röjas. Eventuell storskalig lagring på svenskt territorium kommer således vara möjlig först om många år.

6.2 LAGRING I UTTÖMDA GAS- OCH OLJEFÄLT (UTAN KOLVÄTEUTVINNING)

Koldioxid kan även lagras i uttömda gas- och oljefält. Sådan lagring planeras exempelvis i Danmark, se vidare i avsnitt 6.4. Lagringen går till på ungefär samma sätt som vid akvifärer, det vill säga lagring i överkritiskt tillstånd. Det innebär att även vid detta alternativ behöver lagringsplatsen befinna sig på ett djup om minst ca 800 meter.

Lagring i uttömda olje- eller gasfält ska inte blandas ihop med lagring i kolvätefält med samtidig ökad utvinning av olja eller gas. Detta pågår kommersiellt internationellt sett (exempelvis i USA och Kanada) och är lönsamma projekt eftersom koldioxidlagringen samtidigt innebär att mer kolväten kan utvinnas. Huvudsyftet med denna typ av lagring är alltså inte att minska utsläppen av koldioxid utan att öka kolväteutvinningen.

6.3 LAGRING GENOM MINERALISERING I BASALTER

Basalt är en basisk bergart som till stor del består av silikater. Det är en vulkanisk bergart som finns i riklig förekomst på t.ex. Island där basaltlagring av koldioxid pågätt sedan 2014 genom projektet Carbfix⁹. Första steget vid koldioxidlagring i basalter är att den avskilda koldioxiden löses in i vatten så att kolsyra bildas. Den sura lösningen injekteras därefter i lämplig basalt där den reagerar med bergarten och bildar stabila karbonater. Studier i projektet Carbfix har visat att så mycket som 95% av koldioxiden efter bara två år mineraliserats till karbonater. Projektet har också visat att kostnaden för lagring är drygt 200 SEK/ton.

För effektiv lagring krävs att bergarten är tillräckligt porös. Därmed kan dels koldioxiden fördelas effektivt i basalten och dels ökar den reaktiva ytan. Fördelen med den isländska basalten är att den är relativt ung och därmed har en förhållandevis hög porositet.

Även i Sverige finns basalter, men betydligt mer utspritt och med lägre porositet. Vid en workshop inom projektet i maj 2021 presenterade Luleå Tekniska universitet pågående forskning kring basaltlagring i Sverige¹⁰. Projektet¹¹

⁹ www.carbfix.com

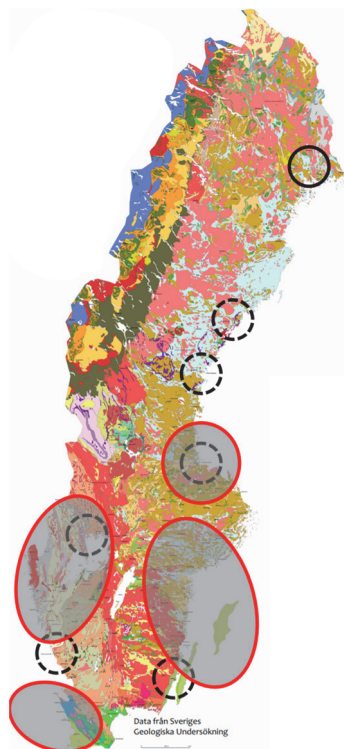
¹⁰ Glenn Bark, Luleå Tekniska universitet.

¹¹ Projektets namn är "INSURANCE - Nyttjande av industriell biprodukt för ett effektivt geologiskt BECCS"

finansieras av Energimyndigheten och BillerudKorsnäs och analyserar bland annat potentialen för lagring av koldioxid genom mineralisering i basalter.

Under projektet kommer forskarna vid Luleå tekniska universitet att undersöka ett antal platser i Sverige med en berggrund som är relativt reaktiv¹² och därmed har lätt att bilda karbonatmineral. I Sverige finns det stora mängder basalter, men den stora skillnaden mellan Island och Sverige är att berggrunden i Sverige är mycket äldre. Inom projektet kommer forskarna att studera om den här ålderskillnaden har betydelse för hur effektiv den geologiska lagringen skulle kunna bli i svensk berggrund¹³.

I Figur 8 visas de platser där forskarna har tänkt ta prover inom projektet tillsammans med de områden som AP3 har identifierat som potentiella kluster för regional samverkan kring infrastruktur för transport och lagring. Det återstår dock att se vad provtagningarna och forskargruppens analyser kommer indikera och huruvida det finns någon framtida potential för lagring i svenska basalter.



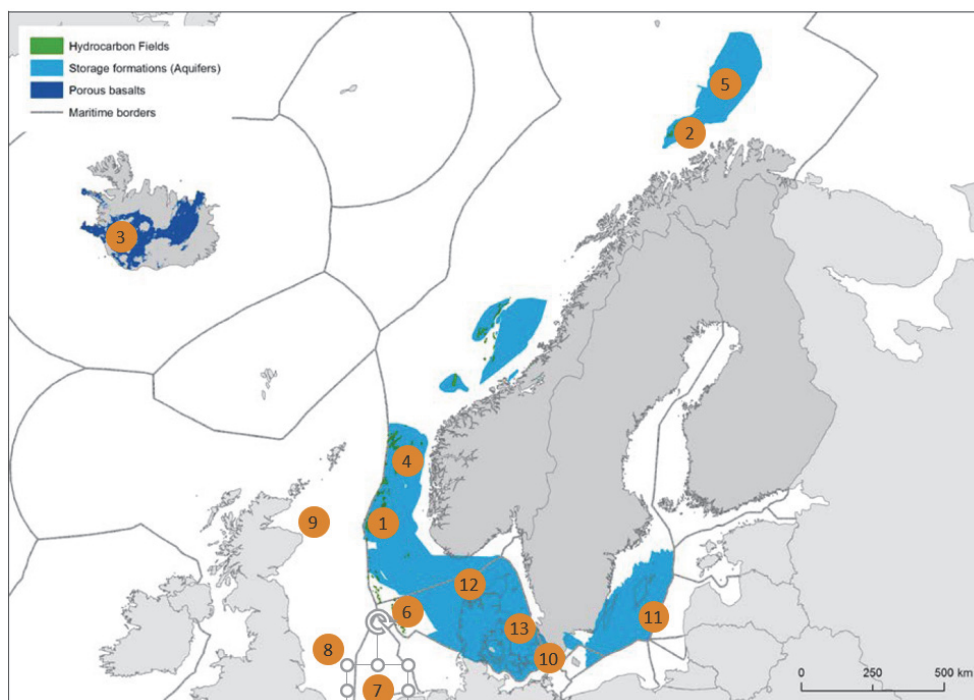
Figur 8 En karta över de platser (streckade cirklar) där forskarna inom projektet INSURANCE vid Luleå Tekniska universitet avser att genomföra geologiska undersökningar för att studera karaktär och egenskaper i olika basalter i Sverige i syfte att värdera potential för basaltlagring (bild hämtat från presentation av Glenn Bark, LTU vid workshop 2021-05-19 inom AP3). Hel cirkel visar platsen för BillerudKorsnäs anläggning i Kalix där man testar teknik för avskiljning av koldioxid. Gråmarkerade områden med röd ram motsvarar de regionala samverkanskluster som har analyserats inom AP3. Kartan är något modifierad av rapportförfattarna för att göra den mer tydlig.

¹² Det vill säga en berggrund som lätt reagerar med koldioxid.

¹³ <https://www.ltu.se/research/subjects/Malmgeologi/Forskningsprojekt/CO2-INSURANCE/Koldioxid-fangas-in-for-lagring-i-berggrunden-1.204713>

6.4 ÖVERSIKT ÖVER LAGRINGSALTERNATIV I SVERIGES NÄRHET

De lagringsalternativ som förefaller mest rimliga för svensk del är lagring i akvifärer och eventuellt uttömda olje- och gasfält i vår närhet. Det finns ett flertal pågående eller planerade lagringsprojekt i Sveriges närhet som skulle kunna vara aktuella för lagring av koldioxid från anläggningar i Sverige. Några av dessa beskrivs i Figur 9 samt i Tabell 2, där även lokalisering av några potentiella ytterligare lagringsplatser i Sverige och Danmark visas. För mer information om dessa hänvisas till NORDICCS (2015) och för Sverige även Møl Mortensen (2017).



Figur 9. Exempel på tänkbara lagringsplatser för koldioxid i Sveriges närhet. Siffrorna representerar några av de kända lagringsmöjligheter som antingen är pågående, planerade eller potentiella i Sveriges närhet. Dessa exempel på lagringsmöjligheter sammanfattas vidare i Tabell 2. De klarblå fälten visar kända akvifärer i Norden (utan bedömning av lämplighet för koldioxidlagring), gröna fält kolvätefält, mörkblå fält porös basaltbergart på Island. Källa: Kartan är från NORDICCS (2015). Numreringar och beskrivningar i Tabell 2 är analyser gjorda i detta projekt.

Utöver de lagringsmöjligheter som beskrivs i Figur 9 och i Tabell 2 finns även andra initiativ, exempelvis Aramis¹⁴ i Nederländerna. Gemensamt för alla nederländska initiativ projektgruppen känner till är att de åtminstone inledningsvis främst verkar avsedda för lagring av koldioxid från specifika inhemska industrier. Det förefaller alltså inte som att det kommer finnas möjligheter för externa parter och länder att, åtminstone på kort sikt, köpa lagringsutrymme. Detsamma gäller i dagsläget för de pågående lagringsprojekten i Norge (*Sleipner* och *Snöhvit*) respektive Island (*Carbfix*).

På kort sikt förefaller lagring i Norge genom projektet Northern Lights således mest rimligt, men utvecklingen går snabbt på området.

¹⁴ <https://www.gasunie.nl/en/news/totalenergies-shell-netherlands-ebn-and-gasunie-form-partnership-to-develop-an-offshore-ccs-project-aramis>

Tabell 2. Exempel på pågående, planerade och potentiella lagringsmöjligheter i Sveriges närhet. Numrering i första kolumnen motsvarar ungefärlig lokalisering på kartan.

Nr	Land	Lagringsplats; projektnamn	Typ av lagring	Tidplan	Lagring (Mton/år)	Aktörer
Pågående lagringsprojekt						
1	NO	Utsira; Sleipner	Akvifär	1996	1	Equinor, Vår Energi, Total
2	NO	Tubåen/Stø; Snøhvit	Akvifär	2008	0,7	Equinor, Petoro, Total, Engie, Norsk Hydro, Hess Norge
3	IS	Island; Carbfix	Basalt	2014	0,012	Carbfix Iceland
Planerade lagringsprojekt, exempel						
4	NO	Johansen; Northern Lights	Akvifär	2024	2023/24: 1,5 2029: 5	Equinor, Shell, Total
5	NO	Polaris; Barents Blue	Akvifär	Byggstart 2022	2	Horisont Energi, Baker Hughes
6	DK	Nini West; Greensand	Uttömt oljefält	2025	2025: 0,5-1 2030: 4-8	INEOS, Maersk Drilling, Wintershall Dea and GEUS
7	NL	P18-A; Porthos	Uttömt oljefält	2024	2,5	Port of Rotterdam Authority, Gasunie, EBN
8	UK	Endurance; Zero Carbon Humber, NetZero Teesside	Akvifär	2026	2026: ca 2,5 2030: ca 10	BP, Eni, Equinor, National Grid, Shell and Total m.fl.
9	UK	Goldeneye; Acorn	Akvifär, uttömt gasfält	2023	0,8 (mer längre fram)	Pale Blue Dot Energy, Harbour Energy, Shell m.fl.
Övriga potentiella lagringsplatser, exempel						
10	SE	Arnagergrönsand	Akvifär			
11	SE	Faludden	Akvifär			
12	DK	Hanstholm	Akvifär			
13	DK	Havnsø	Akvifär			

Northern Lights¹⁵ utgör transport- och lagringsdelen av det så kallade Langskip-projektet, som fokuserar på att avskilja och lagra 800 000 ton koldioxid från en norsk avfallsförbränningsanläggning (Fortum Oslo Värme) och en cementfabrik (Norcem). Northern Lights siktar på att bli först i världen med att bygga lagringsinfrastruktur för att kunna ta emot koldioxid från andra länder. Från mitten på 2024 ska 1,5 miljoner ton koldioxid årligen kunna tas emot i Kollsnes utanför Bergen och sedan transporteras med rörledning till en akvifär 2 600 meter under havsbotten. Utöver koldioxiden från de två nämnda norska anläggningarna kommer alltså ytterligare 700 000 ton kunna tas emot från 2024. Rörledningen byggs dock för att klara upp till 5 miljoner ton koldioxid/år, och planen är att fram mot 2030 utvidga även den övriga kapaciteten till denna volym. Northern Lights har indikerat att kostnaden för transport och lagring enligt deras koncept kommer att ligga runt 30-55 €/ton. För mer om tekniska krav och specifikationer för Northern Lights-projektet, se t.ex. Northern Lights (2019) eller Gassnova (2020).

6.5 SAMMANFATTNINGSVIS: GEOLOGISK LAGRING I NORDSJÖN – MEST RIMLIGT PÅ KORT SIKT

Geologisk lagring av koldioxid i någon form utgör den sista delen i hela kedjan från avskiljning och infångning av koldioxid vid anläggning samt transport till lagringsplats. Globalt sett är den teoretiska lagringspotentialen enorm. Den faktiska (effektiva) och praktiska lagringskapaciteten är däremot betydligt mindre och det finns dessutom en stor osäkerhet i storleken på denna. I de flesta fall

¹⁵ <https://northernlightssccs.com/what-we-do/>

kommer det att krävas omfattande seismologiska undersökningar, borrning och kanske även testinjektion innan injektions- och lagringskapacitet kan fastställas vilket både är kostsamt och tidkrävande. Till exempel anges kostnaden för en ny brunn i Northern Lights-projektet (dvs i norska delen av Nordsjön) till NOK 1 140 miljoner (2020 års priser)¹⁶.

Det pågår nu ett antal stora projekt i framförallt Nordsjöområdet för att lagra koldioxid. Utöver detta finns ett stort antal planerade lagringsprojekt. De lagringsalternativ som förefaller mest rimliga för svensk del är lagring i akvifärer och eventuellt uttömnda olje- och gasfält i vår närhet.

Under projektet har fjärrvärmeaktörerna, samt externa aktörer som projektet haft dialog med, flera gånger uttryckt en förhoppning om en framtida möjlighet till koldioxidlagring i svensk berggrund. I maj 2021 genomfördes en workshop inom ramen för projektet på temat koldioxidlagring där de potentiella utmaningarna kopplat till de framtida eventuella möjligheterna till koldioxidlagring i Sverige diskuterades. Förutom den stora kostnad som denna typ av infrastruktursatsningar kommer att kräva lyfte SGU behovet av mer noggranna och fördjupade platsundersökningar, för att kunna utreda den faktiska och praktiska potentialen för lagring i svensk berggrund. Utöver detta handlar det om att Sverige måste bygga upp kompetens samt undanröja vissa legala hinder. I Sverige, jämfört med våra nordiska grannländer Norge och Danmark, saknar vi dessutom den praktiska erfarenheten och kompetensen, men också befintlig infrastruktur, som hör samman med olja- och gasutvinning. Länder med lång erfarenhet av detta har ett stort försprång då man ska bygga upp pilotanläggningar, borrhål och testinjekteringar för koldioxidinlagring under havsytan.

Legala hinder som behöver undanröjas rör bl.a. Offshore-direktivet, Helsingforskonventionen och CCS-direktivet. Dessutom finns en del oklarheter i svensk lagstiftning vad gäller frågan om hantering av gas och olja som påträffas vid ej forskningsbaserade koldioxidlagringsprojekt. SGU lyfter detta som en viktig fråga att hantera för att det inte blir en hämsko för framtida satsningar på svensk koldioxidlagring. SGU ser det inte som realistiskt med en svensk etablerad lagringsplats för koldioxid förrän tidigast någon gång in på 2030-talet, förutsatt att man sätter igång med processen idag. Det finns fortfarande även viss osäkerhet kring social acceptans runt denna typ av infrastruktur, inte minst vad gäller själva lagringen av koldioxid under havsytan eller på land. Det kan därför vara en fördel att Sverige inte går först utan istället lär sig av de erfarenheter som andra länder bygger upp kring denna typ av infrastruktur. Däremot har diskussionerna inom projektet tydligt visat på ett stort intresse och stora förhoppningar om att på sikt kunna lagra koldioxid även inom Sverige, framförallt för att säkra upp lagringskapacitet. En fråga som har dykt upp under diskussionerna har handlat just om farhågan vid en "överteckning" av de lagringsplatser som är först ut, och hur svenska aktörer ska agera för att inte bli utan lagringsplats.

¹⁶ Stortingsmelding 33 "Langskip – fangst og lagring av CO2"
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20192020/id2765361/>

7 Kostnader för infrastruktur

Som en del av detta arbetspaket har ingått att utföra kostnadsanalyser över infrastrukturkedjan. Kostnadsberäkningarna inom projektet har delats in i tre olika delar; förvätskning och nerkyllning, transport med lastbil, tåg eller skepp samt mellanlagring i specialbyggda tankar i lågtemperatur kolstål. I några enstaka fall har även indikativa kostnader för långväga rörtransport beräknats. Kostnadsunderlaget har tagits fram inom det norsk-svenska ZEROOC projektet i samarbete med norska Sintef¹⁷.

Kostnaderna redovisas i form av investeringskostnader (CAPEX), årliga driftskostnader (OPEX) och den specifika kostnaden (SEK/ton CO₂) där CAPEX beräknats som annuitet över 25 och 30 år utgående från en diskonteringsränta på 8%.

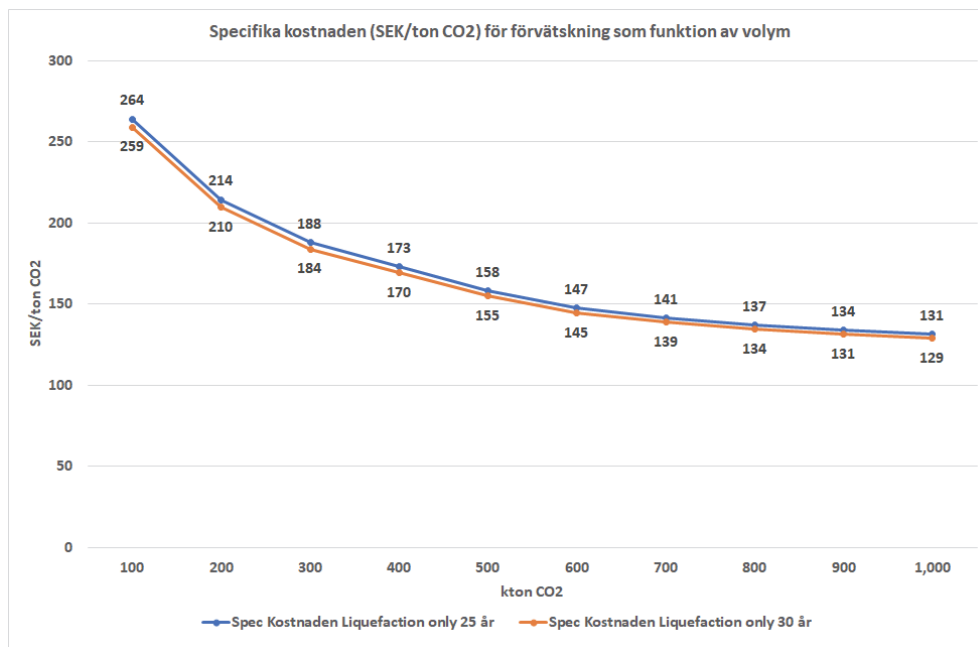
Förvätskningen sker genom att trycket höjs till 30 bar i en centrifugalkompressor varpå gasen kyls med ammoniak och trycks ner till 7 bar och en temperatur på minus 50 grader Celsius och pumpas till mellanlagret. Koldioxiden har då en densitet på ca 1,150 kg/m³ och beräkningar gjorda av Chalmers och Sintef visar att för de volym och avstånd som är aktuella för svenska anläggningar vid transport till Northern Lights anläggning på Kollsnes i Norge, så är detta den mest kostnadseffektiva tryck- och temperaturnivån. Northern Lights använder initialt skepp med ett något högre tryck/temperatur, ca 15 bar/minus 30 grader Celsius och med en lastkapacitet på 7 500 m³ CO₂. Orsaken är att fartygstransport under dessa betingelser har använts för transport av koldioxid i många år och därför antas ha ett högre teknisk mognadsgrad (TRL = *Technology Readiness Level*). Samtidigt framgår det av Northern Lights hemsida att de undersöker tillämpning av lägre tryck- och temperaturnivåer för att kunna använda större skepp i storleksordningen 20 000 – 30 000 m³ (se fotnot¹⁸).

Förvätskningsanläggningens storlek och effektbehov sätts normalt efter det maximala koldioxidflödet som går genom systemet. För anläggningar som har varierande flöde kan detta höja kostnaden avsevärt. Om anläggningen har biogena utsläpp kan det därför vara lönsamt att dimensionera efter ett lägre flöde och alltså släppa ut en del biogen koldioxid när flödet är som högst. Det antas att det går åt 115 kWh el/ton CO₂ som går genom systemet per timme (115 kW effekt) exklusive elförbrukningen till de fläktar som behövs för att driva koldioxiden från infångningsanläggningen till förvätsknings-anläggningen. Om dessa fläktar inkluderas så antas elförbrukningen öka till 140 kWh/ton CO₂. Kapitalkostnaden per ton CO₂ minskar med ökande effektbehov. OPEX (driftkostnader) antas bestå av kostnader för el, kylvatten och personal samt för underhåll. Specifika kostnaden minskar tydligt med ökande flöde som går genom anläggningen.

¹⁷ www.sintef.no/zeroc

¹⁸ www.northernlightsccs.com, se även Nysæter m.fl., 2021.

Figur 10 visar specifika kostnaden vid 25 respektive 30 års avskrivning för förvätskningen som funktion av ökande flöde från 100 kton per år till 1 miljon ton/år.



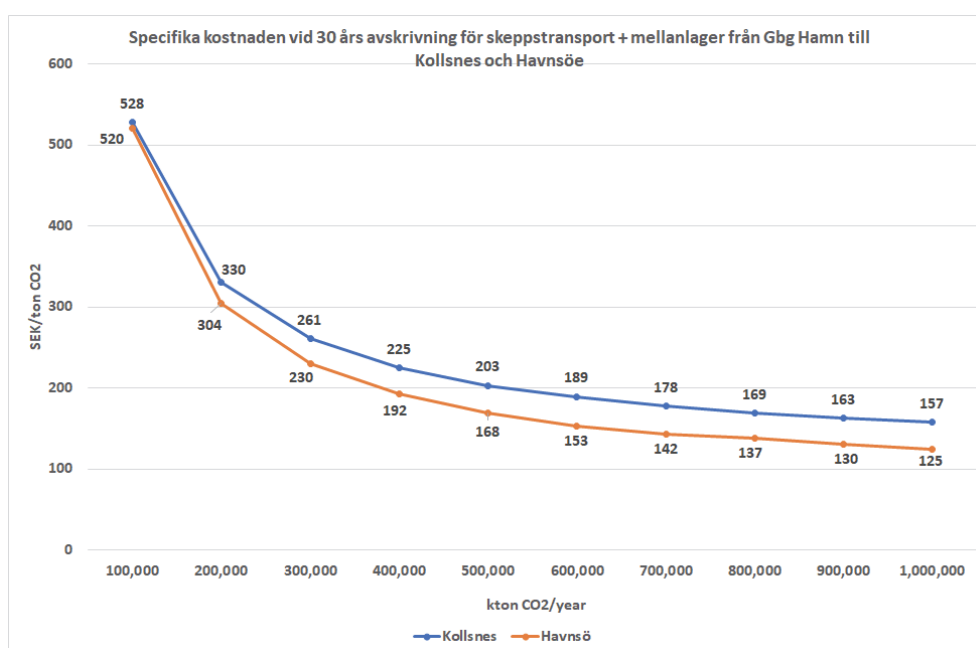
Figur 10 Den specifika kostnaden vid 25 respektive 30 års avskrivning för förvätskningen som funktion av ökande flöde från 100 000 ton per år till 1 miljon ton per år. Källa: beräkningar i projektet.

Mellanlagret består av tankar gjorda med ett innerlager av kolstål isolerad med perlite och vakuum och med ett ytterlager av rostfritt stål. Tankarna antas ha en tjocklek på 40 mm med max höjd upp till 30 meter och en maximal lagringskapacitet på 4 000 m³ (motsvarar en diameter på ca 13 meter vid höjden 30 m). Tankarna antas sitta i en ram med 3 meters avstånd i alla riktningar och kostnadsberäkningarna antas inkludera all tilläggsutrustning som lastarmar, pumpar, rördragningar med mera. Varje tank antas vara utrustad med pump som lastar/lossar ca 800 m³/timme (se t ex Nysæter m.fl., 2021) dvs varje tank har en maximal lastnings- och lossningstid på 2x5 timmar. Behovet för mellanlager styrs helt av det CO₂-flöde som uppkommer från anläggningen under omloppstiden för en transportcykel oavsett om transport sker med tåg, lastbil eller fartyg. Omloppstiden rundas hela tiden uppåt för att på så sätt inkludera en buffert för oplanerade avbrott i cykeln. Kapitalkostnaden har satts till 44 000 SEK/m³ lagringsbehov medan OPEX har satts till 4% per år av CAPEX.

Skeppen antas ha en maximal storlek (lastkapacitet) på 40 000 m³ och en hastighet på 14 knop. Varje hamnanlöp adderar 4 timmar till omloppstiden i tillägg till tiden det tar att lasta/lossa koldioxiden (max 2x5 timmar, se ovan). Varje omloppscykel rundas alltid uppåt till närmsta hela dygn. Skeppets kapitalkostnad (CAPEX) inklusive tankarna beräknas enligt princip för kurvanpassning baserad på CAPEX för ett stort antal LPG-skepp medan OPEX är summan av kostnaden för bränsle, personal, hamnanlöp och övrigt där de tre förstnämnda posterna varierar med skeppets storlek och/eller hastighet (bränsleförbrukningen vid hamnanlöp antas

halveras relativt förbrukningen vid ordinarie driftshastighet). Kostnadsberäkningarna för skeppstransport visar att specifika kostnaden minskar med minskande avstånd till lagringsplatsen och med ökande volym. I förstnämnda fallet också därför att lagringskostnaden går ner till följd av kortare omloppscykel och i sistnämnda fallet kan det vara värd att notera att i vissa fall, beroende på avstånd och volym, kan det vara kostnadsbesparande att använda 2 st medelstora skepp i stället för ett stort (för varje dubbling av antalet skepp som ingår i cykeln så halveras lagringskostnaderna).

Figur 11 visar den specifika kostnaden inklusive mellanlagret (som beror på omloppstiden) som funktion av volym för skeppstransport till lagring i Kollsnes (Norge) respektive Havnsø (Danmark).



Figur 11 Den specifika kostnaden inklusive mellanlagret (som beror på omloppstiden) som funktion av volym för skeppstransport till Kollsnes och Havnsø.

Kostnaden för systemet till Havnsø är beräknad utifrån en omloppstid på 2 dygn. För volymer mellan 100 000 – 300 000 ton per år finns möjlighet att omloppstiden kan halveras, exempelvis genom att öka skeppets hastighet. Sannolikt är även hamnkostnaderna för höga för både Kollsnes- och Havnsø-systemen, men påverkan på totalkostnaderna blir självfallet störst för det system som har kortast omloppstid (dvs flest anlöp över en tidsperiod)¹⁹.

Om koldioxiden behöver transporteras från avskiljnings- eller förvätskningsanläggningen till utskeppningshamnen kan den transporteras med rör i gas- eller vätskefas, och i vätskefas med tåg eller lastbil.

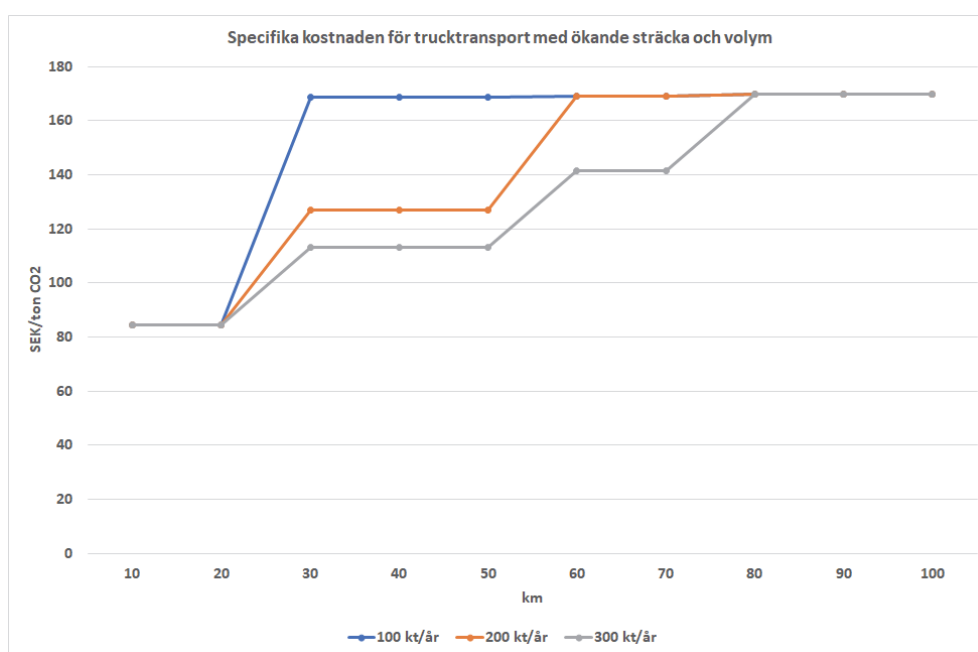
¹⁹ Hamnkostnader har beräknats baserad på kostnadsuppgifter från olika hamnar i Sverige och utgör en stor del av kostnaderna (OPEX) för skeppstransport. Om skeppen har kort avstånd till en lagringsplats (kort omloppstid, dvs många hamnanlöp) så beräknas hamnkostnaderna uppgå till uppemot 50% av skeppens OPEX och närmare en tredjedel av totala årliga kostnaderna. Det är osäkert hur hamnkostnader påverkas av fasta anlöp över flera år men det är grund till att anta att de är betydligt lägre än den fasta kostnad som har påförts de olika transportsystem beräknat inom detta projekt.

Rörtransport i gasfas sker vid lågt tryck (2 bar) och är därför främst relevant för mycket korta sträckor, t ex inom samma industriområde, och med relativt modesta volymer eftersom rören snabbt blir för stora. Om koldioxiden istället transporteras i vätskefas med ett tryck kring 15 bar och en temperatur kring -29°C fordras det kallisolering av röret och rostfritt stål vilket ökar kostnaderna. Projektet CinfraCap räknade på kostnaden för båda transportalternativen för en sträcka på 5 km och kom fram till att kostnaderna var ungefär lika. För transportsträckor på 20 km eller längre kan koldioxiden tryckas upp till s.k. superkritiskt tillstånd (ca 73 bar) plus beräknat tryckförlust under transporten vilket t ex är fallet i Northern Lights-projektet. Kostnaden för rörtransport kan snabbt komma ner i låga nivåer när volymen höjs vid transport över relativt korta sträckor (100-300 km). För anläggningar inom detta projekt gäller det främst anläggningar belägna på västkusten med lagringsmöjligheter på danska ostkusten (t ex Havnsø-akvifären utanför Kalundborg i Danmark). En stor fördel med rörtransport från svenska västkusten till Havnsø är att koldioxiden kan injekteras rakt in i reservoaren, dvs det är inget behov för vare sig mellanlager eller fasomvandling från gas till vätska till superkritisk fas (som i fallet Northern Lights). Om denna möjlighet alls blir verklighet talar vi dock om ett antal år framåt i tiden. Eftersom det är en intressant lösning har vi i projektet räknat på specifika kostnaden för rörtransport från Malmö hamn till Havnsø i Danmark. Utgående från ett tryck på 90 bar, en rörsträcka på ca 140 km och 540 000 ton CO_2 per år så beräknades den specifika kostnaden inklusive kompressor- och pumpkostnader till mellan ca 250 SEK/ton och 260 SEK/ton vid 25 respektive 30 års avskrivningstid. Att kostnaden blev så hög beror till stor del på den låga volymen och det är skäl att anta att kostnaden kan minska avsevärt om volymen koldioxid från Malmö ökar och/eller genom att koppla sig på ett rörsystem från anläggningar i exempelvis Köpenhamnsområdet även om detta kommer öka rörsträckan.

Tågtransport antas ske i vätskefas (kryogent vid 7 bar enligt ovan) och är mest aktuellt över längre sträckor där det redan finns dragna spår. Viktiga faktorer för att minimera kostnaderna är volym, frekvens, vagnantal per tillfälle, mottagande och avsändande ort. Avstånd har endast liten påverkan på kostnaden. Ett sätt att få ner kostnaderna är om tågsetet kan gå lastat åt båda hållen. Kostnaden är starkt beroende av anläggningens läge relativt befintligt spår och behöver sålunda räknas ut specifikt för varje enskild anläggning. I samtal med Green Cargo har vi inom projektet kommit överens om att tillämpa en generell rikt kostnad på mellan 130 och 150 kronor per ton vilket t ex motsvarar en preliminär indikativ kostnadsuppskattning för transport av 415 000 ton/år från Örebro och 630 000 ton/år från Västerås, båda till Skarvikshamnen i Göteborg. Omloppstiden beräknades till ca 15 timmar. Det bör understrykas att kostnaderna för tågtransport som uppges här endast är indikativa kostnader och gäller specifikt för nämnda volym från Örebro och Västerås eftersom det i dagsläget knappt görs någon tågtransport av CO_2 och att specialdesignade tankar först måste konstrueras. För tågtransport mellan anläggning och hamn fordras det ett mellanlager på anläggningen motsvarande minst flödet under omloppstiden för tåget.

Även lastbilstransport antas ske i vätskefas (kryogent vid 7 bar enligt ovan). Det verkar sannolikt att anläggningarna önskar leja bort denna del av kedjan till transportföretag som redan har erfarenhet och kunskaper kring transport av

kryogena gaser. Projektet har därför varit i kontakt med norska Litra AS som har lång och bred erfarenhet i transport av gaser både inom Norge och Sverige. Litra har gett oss ett initialt riktpolis på 25 000 kronor per dygn och lastbil inklusive chaufför och bränsle. Varje lastbil antas ha 20 körtimmar per dygn. På samma sätt som för tågtransport så fordras det vid lastbilstransport ett mellanlager på anläggningen motsvarande minst flödet under omloppstiden för en lastbil medan det på hamnen fordras ett mellanlager minst motsvarande flödet under omloppstiden för skeppet. Lastbilstransport är främst aktuellt för mindre volymer över korta sträckor och är särskilt användbart i komplexa omgivningar som städer och industriområden. Figur 12 visar den specifika kostnaden för lastbilstransport vid transport av 100, 200 och 300 kton CO₂ per år som funktion av ökande sträcka och baserat på ovan antaganden.



Figur 12 Den specifika kostnaden för lastbilstransport vid transport av 100, 200 respektive 300 kton koldioxid per år som funktion av ökande sträcka.

8 Kluster för samverkan

Eftersom det övergripande syftet med arbetspaketet har varit att identifiera möjliga samverkansformer för infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid har vi inom projektet analyserat de regionala möjligheterna för deltagande företag till samarbeten, både utifrån närliggande andra aktörer med både biogen och fossil koldioxid som antingen har pågående planer för CCS eller bio-CCS eller som på sikt kan bli aktuella för detta.

Klusteranalyserna i projektet har fokuserat på möjligheter för fjärrvärmesektorn att genom lokal samverkan sänka kostnaderna och öka potentialen för minusutsläpp genom bio-CCS. I projektet har vi analyserat olika tänkbara samarbeten kring infrastrukturen för CCS i syfte att hitta alternativ som innebär sänkta kostnader.

Samverkan som inte innebär lägre kostnader kommer sannolikt inte att genomföras. Där samverkan i kluster är lönsamt kan det innebära att fler CCS-projekt, både CCS för fossil koldioxid samt aktörer med bio-CCS, implementeras och att potentialen därmed ökar medan kostnaderna minskar. Samarbeten har analyserats mellan fjärrvärmeanläggningar, med andra industrier och med olika aktörer som kan vara involverade i CCS-kedjan såsom transportföretag och hamnar.

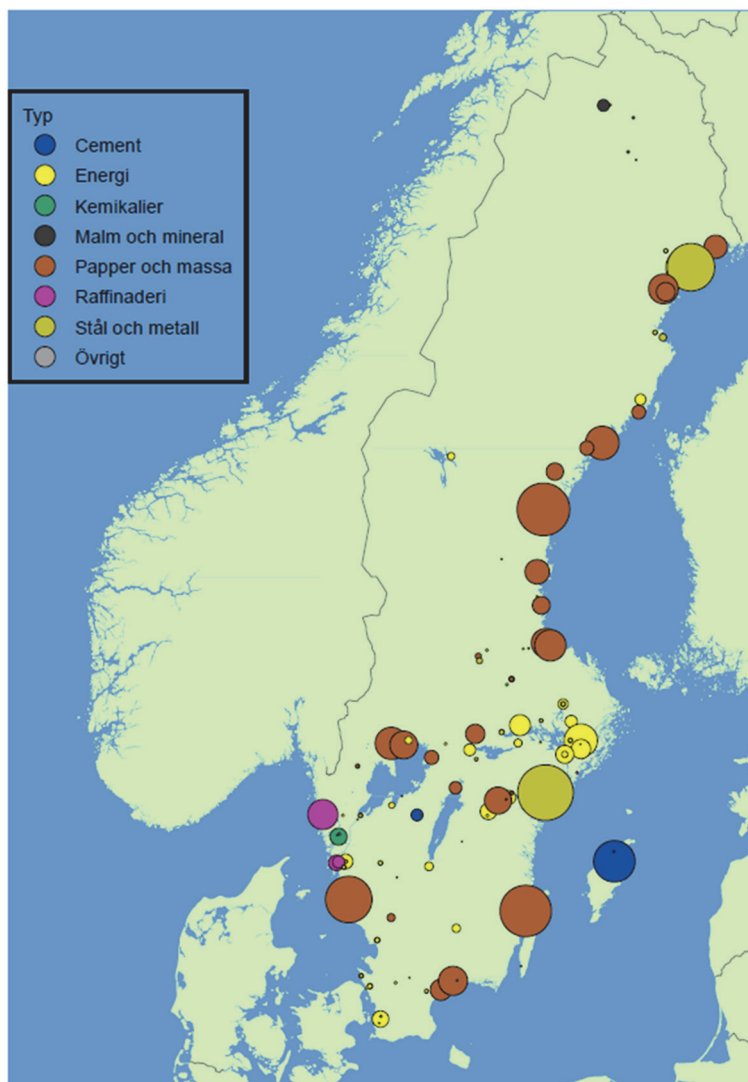
Samarbete kan exempelvis omfatta:

- Gemensam förvätskning efter avskiljning
- Gemensamma mellanlager
- Gemensam transport från avskiljningsanläggning till hubb
- Gemensam transport från hubb till lagringsplats och efterföljande samverkansvinster vid lagring

Som beskrivs under 1.3.1 genomfördes inledningsvis en enkät bland deltagande företag för att identifiera aktuella planer och tankar om samverkan kring infrastrukturen.

8.1 UTSLÄPP AV KOLDIOXID OCH URVAL AV KLUSTER

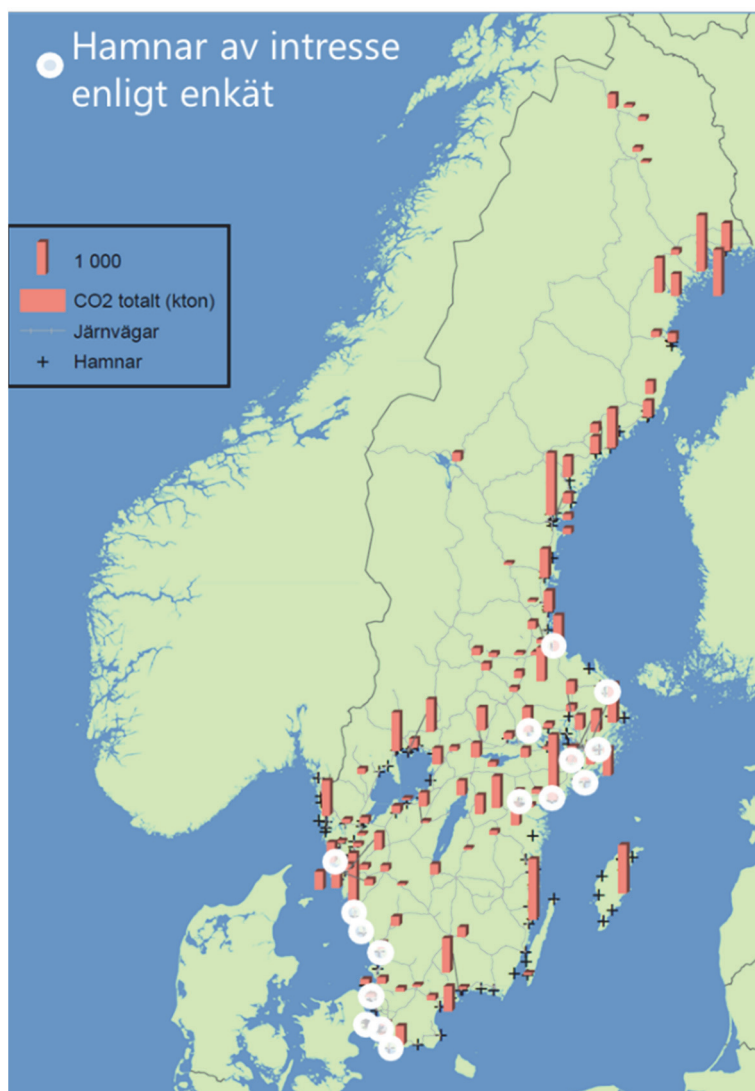
Figur 13 visar totala koldioxidutsläpp (biogen och fossil) från olika punktutsläpp baserat på 2019 års statistik (Naturvårdsverket, 2020). Anledningen till att ingen uppdelning görs här mellan biogen och fossil koldioxid är att samverkan kring infrastrukturen kommer att nyttjas av utsläppare av både fossil och biogen koldioxid, när det bedöms lönsamt att samverka kring delar av kedjan.



Figur 13 Utsläpp av koldioxid (biogen och fossil) i Sverige 2019. Endast punktutsläpp >50 kton är inkluderade. Källa: Naturvårdsverket (2020).

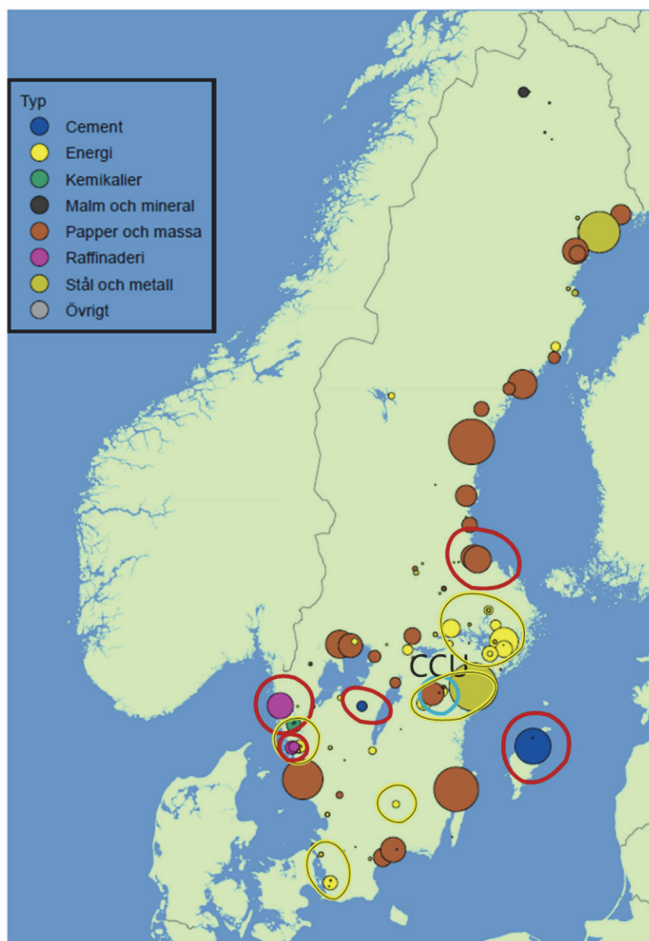
De olika cirklarnas storlek i Figur 13 relaterar till utsläppens storlek och de olika färgerna till olika sektorer. Av kartan framgår att de största enskilda punktutsläppen av koldioxid finns i skogsindustrin, stålindustrin och cementindustrin. De gula prickarna avser utsläpp från energisektorn (inklusive avfallsförbränning i avfallsbranschen). De största punktutsläppen från energi- och avfallsbranschen finns runt Mälardalen, på Västkusten och i Skåne. De flesta fjärrvärmeföretag som i skrivande stund har kommunicerade konkreta planer på CCS befinner sig också i dessa områden.

Kartan i Figur 14 visar de hamnar som deltagande företag har identifierat som potentiellt intressanta för nyttjande av infrastruktur för utskeppning av koldioxid till slutlagringsplats. Svaren på enkäten indikerade att deltagande företag pekar ut 16 olika hamnar av intresse för möjlig utskeppning. Fyra aktörer har tillgång till egen hamn och en (1 st) aktör har mycket nära till extern hamn.



Figur 14 Karta som visar utsläppskällor av koldioxid (kton per år från olika anläggningar) samt järnvägsinfrastruktur och befintliga hamnar i Sverige. De vita punkterna är hamnar av intresse för projektets deltagande företag enligt den enkät som har genomförts inom arbetspaketet.

Urvalet av kluster att studera i projektet har gjorts mot bakgrund av punktutsläppen av koldioxid enligt kartan i Figur 13 med fokus på områden där flera fjärrvärmeanläggningar bedöms ha möjlighet att samarbeta med varandra och med andra industrier kring CCS-infrastruktur. Utöver detta har även andra faktorer beaktats såsom kända planer på CCS (Figur 15), tillgång till egen hamn eller närhet till annan hamn (Figur 14) för transport av koldioxid samt tågförbindelse till tänkbar hamn/hubb.

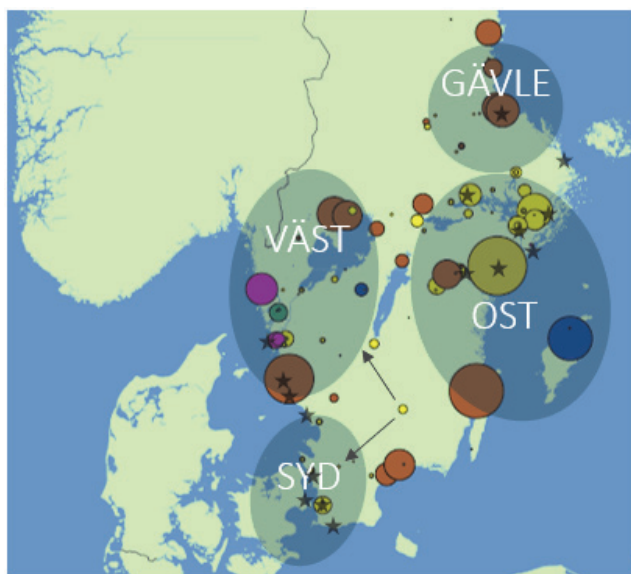


Figur 15 Kända planer för CCS i Sverige vid tiden för analyserna (våren 2021). De gula inringningarna avser CCS-planer inom energi- och avfallsbolagen, de röda inringningarna avser CCS-planer inom övrig industri. Under projektets gång har fler aktörer indikerat intresse för CCS inom energisektorn, kartan avser därför situationen sommaren 2021.

Utifrån dessa analyser har följande fyra kluster valts ut för närmare analyser, se även Figur 16:

- Kluster Ostkusten/Mälardalen (i figur nedan benämnt OST)
- Kluster Gävle (i figur nedan benämnt GÄVLE)
- Kluster Västkusten/Vänern (i figur nedan benämnt VÄST)
- Kluster Skåne/Danmark (i figur nedan benämnt SYD)

Vissa fjärrvärmeanläggningar som ligger utanför dessa områden har också analyserats i projektet och vi har då studerat möjlig anslutning för dem till någon/några av ovan nämnda kluster. För en del fjärrvärmeanläggningar finns också möjlighet att ansluta till flera olika kluster. Mer om vilka anläggningar som analyserats i respektive kluster presenteras i efterföljande avsnitt. Det har inte varit möjligt att göra detaljerade analyser för samtliga fjärrvärmeanläggningar i respektive kluster eller samtliga tänkbara samverkanskonstellationer. De beräkningar och lösningar som presenteras i de efterföljande avsnitten får alltså ses som exempel på lösningar och kostnader, som kan byggas vidare i separata studier.



Figur 16 Studerade kluster i projektet. Teckenförklaring för de färgade prickarna, se Figur 15. Stjärnor avser tänkbara hamnar för fartygstransport till lagringsplats. Skuggade fält markerar de studerade klustren. För vissa anläggningar har anslutning till flera kluster analyserats. För mer information se respektive klusteravsnitt.

På kort sikt är lagring i Norge det absolut mest sannolika alternativet, eftersom Norge genom Northern Lights-projektet i dagsläget har kommit längst i planeringen att erbjuda externa parter lagringsutrymme. I projektet har vi även tittat på en alternativ lagringsplats, Havnsø-formationen utanför Själlands nordostkust, främst på grund av dess närhet till anläggningar på västkusten.

8.2 KOSTNADSFÖRDELAR VID SAMVERKAN

8.2.1 Förvätskning

Som visats i Figur 10 minskar de specifika kostnaderna för förvätskning snabbt vid ökande volym. Figuren visar exempelvis en halvering av kostnaderna om volymen höjs från 100 kton/år till 1 Mton/år. Gemensam förvätskning eller avskiljning kommer dock fordra att anläggningarna ligger mycket nära varandra, inom ett fåtal kilometer, och helst inom samma industriområde eftersom transporten av koldioxid från avskiljningsanläggningen till förvätskningsanläggningen blir komplex. Figur 10 visar dock att större anläggningar har en stor kostnadsfördel jämfört med mindre anläggningar när det gäller förvätskningsprocessen.

I CinfraCap-projektet värderades både separat och gemensam förvätskning för tre anläggningar belägna nära varandra runt Skarvikshamnen i Göteborg. Medan CAPEX indikerade att gemensam förvätskning vore något billigare än separat förvätskning så indikerade OPEX-kostnaderna att separat förvätskning kunde ge kostnadsfördelar, främst genom effektiv energiintegrering uppströms i de enskilda anläggningarna. Slutsatsen från CinfraCap är att man på nuvarande underlag inte kan fastställa vilket som är bäst. Det skall också tilläggas att som det framgår från Figur 10 så minskar den marginella kostnadsfördelen allteftersom volymen ökar och är endast några enskilda kronor vid en ökning från 800 kton/år till 1 Mton/år.

Detta beror på att ett extra kompressortåg installeras vid ett flöde på ca 104 ton/h (motsvarande ca 830 kton/år vid 8 000 driftstimmar) och ett effektbehov på 12 MW.

8.2.2 Transport

Kostnadsfördelar genom samverkan uppkommer främst vid transport i rör eller med fartyg och i vissa fall även vid tågtransport. I sistnämnda fallet kommer samverkan endast kunna ske om det redan finns spåranslutning alternativt att det snabbt kan läggas till en beskedens kostnad. Oavsett så måste detta beräknas särskilt för varje specifikt system. Vid rörtransport kan samverkanskostnaderna som nämnts bli betydande särskilt över kortare sträckor (100 - 300 km) allt eftersom volymen ökar. Tills exempel beräknades inom NORDICCS-projektet (NORDICCS, 2015) att kostnaden för 165 km rörtransport från Preem Lysekil till Gassumformationen i Skagerrak²⁰ minskades från € 13/ton för 1,5 miljoner ton per år till € 4/ton för 5 miljoner ton per år.

Som indikerades i Figur 11 så kan betydande kostnadsminskningar uppnås vid gemensam transport med fartyg, särskilt om koldioxiden utgår från samma hamn. Särskilt Göteborgs hamn ligger gynnsamt till med flera stora utsläppskällor som raffinaderierna och Renovas avfallskraftvärmeverk samt flera utsläppskällor kring Väneren som Hedenverket i Karlstad, Trollhättan Energi, Cementa Skövde, Vargön Alloys, Stora Enso Skoghall som alla kan transporteras till Göteborg hamn med älvpråm och/eller tåg, samt Södra i Värö. I Northern Lights har man hittills begränsad fartygsstorleken till 7 500 m³ men man undersöker för närvarande fartyg upptill 20 000 – 30 000 m³ och, som nämnts ovan, i detta projekt har vi utgått från fartyg helt upp till 40 000 m³ för anläggningar belägna på ostkusten. Det bör dock uppmärksammas att större fartyg i vissa fall kan stöta på problem vid hamnanlöp eftersom de som oftast kräver större djup och längre kajer. En annan fördel med just Göteborg är att staden ligger nära till flera andra potentiella lagringsformationer som Havnsø utanför Själland och Gassum och Hanstolm utanför Jylland.

8.2.3 Lagring

Kostnaden för själva lagringen kommer till stor del bero på kostnaden för injektionsbrunnen samt brunnornas/formationens injektionskapacitet. Att borra en brunn i Nordsjön är extremt kostsamt, enligt Det Norske Olje og Energi-departementet²¹ kostar det NOK 1,140 miljoner att borra en extrabrunn i Aurora (namnet på den lagringsformation som Northern Lights kommer använda). Northern Lights vet inte hur mycket koldioxid de kan injektera i brunnen – det kommer de först veta efter att ha injekterat ett tag – men de har självfallet goda skäl att anta att brunnen kan ta de önskade 1,5 miljoner ton per år, vilket är en ganska bra injektionskapacitet. Skulle detta visa sig fel, att flera brunnar måste borraras för att injektera önskad volym eller att man måste borra så kallade vattenproducenter för att avlasta trycket i reservoaren så kan det snabbt bli väldigt kostsamt. Eftersom Northern Lights tar ett pris för tjänsten "transport och lager" så

²⁰ Gassumformationen sträcker sig under stora delar av Jylland och ut i Skagerrak. Den använda injektionspunkten låg ungefär 40 km norr om Jyllands nordkust.

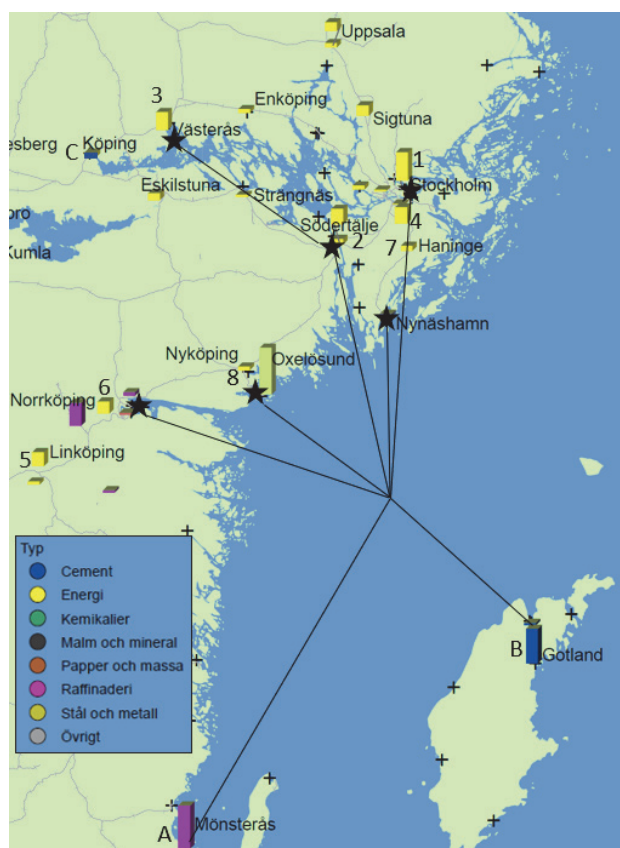
²¹ Olje og Energi dept, Stortingsmelding 33, "Langskip – fangst og lagring av CO₂

är det i så fall de som får bära denna extra kostnad om den skulle uppkomma och på samma sätt så är det också Northern Lights som kommer att tjäna på att öka volymen som injekteras vid lagringsplatsen. Uppstår det konkurrens om tjänsten transport och lagring av CO₂ kan detta självfallet medverka till en lägre kostnad för brukaren av tjänsten. Om det på lite längre sikt kan tänkas vara flera operatörer som kan erbjuda tjänsten transport och lagring av CO₂ kommer självfallet den aktör som kan erbjuda tjänsten till det lägsta priset (dvs sannolikt den som har det mest effektiva transport- och lagringssystemet) vara mest attraktiv.

8.3 KLUSTER OSTKUSTEN/MÄLARDALEN

8.3.1 Beskrivning av kluster

Figur 17 visar karta över kluster Ostkusten/Mälardalen. De anläggningar som sammantaget analyserats i klustret sammanfattas i Tabell 3.



Figur 17. Karta över Kluster Ostkusten/Mälardalen. De olika staplarna markerar olika anläggningar där höjd motsvarar utsläppsstorlek och färg aktuell sektor (enligt förklaring i figuren). De grå linjerna visar befintliga tågförbindelser. Stjärnor avser hamnar som identifierats som intressanta av klustrets aktörer, medan plustecken avser övriga hamnar.

8.3.2 Kostnadsberäkningar kluster Ostkusten/Mälardalen

Projektet har beräknat kostnader för hela transportkedjan från och med förvätskningsanläggningen till mellanlager och transport fram till Northern Lights mellanlager på Kollsnes utanför Bergen. Anläggningarna som ingår i kostnads-

beräkningarna visas i Tabell 3 nedan. Andra kraftvärmeverk som också kan ingå i detta kluster men för vilka inga kostnadsberäkningar har gjorts är Högdalenverket, Gärstadsverket, Händelöverket, Jordbro KVV samt Idbäckens KVV.

Tabell 3 visar även transporterad (och lagrad) mängd koldioxid från de olika anläggningarna baserat på 90% infångning av de totala utsläppen. Kolumnen för system designflöde är den transporterade mängden fördelad jämnt över 8 000 timmar per år. Systemets designflöde bestämmer effektbehovet för kompressorer, förvätskningsanläggning och pumpar samt – tillsammans med omloppstiden – lagringsbehovet (mellanlager). För anläggningar med varierande flöde så måste systemet dimensioneras enligt det högsta flödet under ett år²².

Tabell 3 Studerade anläggningar i Kluster Ostkusten/Mälardalen. Numrering avser lokalisering på karta i Figur 17 (siffror refererar till anläggningar inom energi- och avfallsbranschen och bokstäver övrig industri). Fetmarkerade företag är finansierare av projektet. Systemets designflöde har baserats på jämnt flöde under 8 000 driftstimmar per år

Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar	Transporterad CO ₂ (ton)	System design-flöde, ton/h
1. Värtaverket	Stockholm Exergi	Värtahamnen (egen hamn)	800 000	100
2. Igelstaverket + Igelsta KVV	Söderenergi	Södertälje hamn	603 000	75,4
3. Västerås KVV	Mälarenergi	Västerås (egen hamn)	702 000	87,75
A. Mönsterås pappersbruk	Södra	Egen hamn	1 650 400	206,3
B. Slitefabriken	Cementa	Egen hamn	700 000	87,5
C. Nordkalk Köping	Nordkalk	Köping (egen hamn)	170 033	21,25
Exempel på andra fjärrvärmeanläggningar som finns i närområdet				
Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar		
4. Högdalenverket	Stockholm Exergi	Värtahamnen		
5. Gärstadsverket	Tekniska Verken i Linköping	Norrköping, Oxelösund		
6. Händelöverket	E.ON Värme	Norrköping		
7. Jordbro KVV	Vattenfall Värme	Värtahamnen, Norvik		
8. Idbäckens KVV	Vattenfall Värme	Oxelösund		

För samtliga anläggningar har kostnaden beräknats för enskilt egen transport samt delad transport i större skepp, till Kollsnes terminalen utanför Bergen i Norge.

²² Eftersom flera av anläggningarna släpper ut enbart biogen koldioxid kan man välja att släppa ut en del av koldioxiden vid peak-flöde om det bidrar till att sänka kostnaderna.

Transportdistansen varierar från 1 410 km enkel väg från Södra i Mönsterås till 1 750 km enkel väg från Värtaverket vilket i sin tur ledde till en omloppstid på 6, 7 och 8 dygn beroende på anläggning med undantag av Västerås KVV. På grund av restriktioner på fartygens storlek i Mälaren (i dagsläget 5 800 ton²³) så tvingades nämligen Västerås KVV använda 2 fartyg vilket halverade omloppstiden till 3,5 dygn²⁴ (vilket också halverade behoven av mellanlager). Kostnaderna inkluderar förvätskning, mellanlager, transport och all kringutrustning så som pumpar, rör, lastar och kostnader relaterad till utilities som försörjning av el och kylvatten.

I Tabell 4 visas omloppstiden, fartygsstorleken samt specifika kostnaden utgående från 25 års avskrivning för de enskilda anläggningarna. Gällande omloppstiden för Västerås KVV se fotnot 24.

Tabell 4 Omloppstid, fartygsstorlek och den specifika kostnaden vid egna transportsystem från Ostkusten (25 års avskrivning, 8% diskonto).

	Omloppstid, dygn	Skeppsstorlek, ton	Specifik kostnad över 25 år, SEK/ton
Värtaverket	8	16 696	399
Igelstaverket	6	11 888	455
Nordkalk, Köping	7	3 944	696
Västerås KVV	3,5	8 135	446
Södra Mönsterås	6	25 832	293
Cementa Slite	7	12 783	393

Som väntat har Södra Mönsterås klart lägre kostnad än övriga, dels på grund av den högre volymen, dels på grund av det kortare avståndet. Av samma skäl har Nordkalk i Köping den klart högsta kostnaden.

För att se effekten från samarbete räknade vi ut två fall där anläggningarna delade fartyg, nämligen; fall 1 där Nordkalk, Västerås KVV och Igelstaverket delade fartyg och fall 2 där Värtaverket delade skepp med Cementa Slite och Södra Mönsterås. I fall 1 antog vi att Nordkalk och Västerås KVV delade fartyg till Södertälje hamn där det antogs omlastning till större fartyg för vidare transport till Kollsnes. I fall 2 fick vi använda 2 fartyg eftersom annars hade fartygsstorleken vida överskridit dom 40 000 ton vi satt som översta gräns för fartygens storlek. Samtidigt halverade detta lagringskostnaden så att specifika kostnaden för hela systemet minskade från 326 SEK/ton till 312 SEK/ton.

²³ Fraktvolymen på fartygen kommer höjas till 9 000 ton/fartyg.

²⁴ I samtliga fall har omloppstiden för fartygstransport höjts till närmsta hela dygn för att a) delvis ha en buffert och b) därför att det förväntas att hamnarna vill fordra fasta anlopps dagar. I ett enda fall höjde vi inte och det var i fallet Västerås KVV som behövde 2 egna skepp för att följa restriktionerna på Mälaren. Hade vi höjt omloppstiden till 4 dygn så hade Västerås KVV behövt 3 fartyg.

Tabell 5 sammanfattar resultaten och visar transporterad mängd, designflöden, omloppstid, storlek på fartyget till Kollsnes samt specifika kostnaden över 25 år för de två fallen.

Tabell 5 Systemparametrar och kostnader för delade transportsystem på Ostkusten.

	Transporterad CO ₂ , ton	System designflöde, ton/h	Omloppstid, dygn	Skeppsstorlek, ton	Specifik kostnad över 25 år, SEK/ton
Fall 1: Nordkalk, Västerås KVV, Igelstaverket	1 475 033	184	6	28 854	450
Fall 2: Värtaverket, Cementa, Södra	3 150 400	197	9	37 000	312

Jämför man specifika kostnaden för egna system i Tabell 4 med specifika kostnaden för delade system i Tabell 5 så kan man se att alla anläggningar minskar sina kostnader vid delade system med ett undantag, nämligen Södra Mönsterås. Detta illustrerar självfallet att Södra med sitt större volym och kortare avstånd subsidierar de övriga anläggningarna i systemet vilket är en osannolik lösning i praktiken utan då kommer självfallet alla kostnader fördelas enligt andel i totala flödet och baserad på varje anläggnings sträcka. Även Nordkalk i fall 1 minskar sina kostnader kraftigt med hjälp av de övriga i systemet. Oavsett, och som också visats i Figur 11, så minskar kostnaden för fartygstransport med ökande volym och det bör man självfallet dra nytta av. Samtidigt visar också beräkningarna för fall 2 att det inte nödvändigtvis alltid kommer vara ekonomisk optimalt att öka fartygets storlek utan snarare gäller det att hitta det optimala förhållandet mellan fartygsstorlek och lagringsbehov.

I ovan exempel har transporten från Västerås KVV antingen skett via egna fartyg över Mälaren hela vägen till Kollsnes eller med delade fartyg på Mälaren (med Nordkalk) följt av omlastning i Södertälje hamn och ett större delat fartyg (Nordkalk och Igelstaverket) hela vägen till Kollsnes. Bara till Göteborg så är omloppstiden från Västerås via Mälaren ca 4 dygn vilket självfallet bidrar till höga kostnader för mellanlager (utöver kostnaden för fartygstransporten). Därför så har vi beräknat vilka kostnader som påförs Västerås KVV endast för transport till Göteborg som del av transporten till Kollsnes, dvs vi har inte inkluderat kostnaden för förvätskning eftersom den tillkommer oavsett vilket system Västerås KVV väljer. Vi har inte heller inkluderat kostnader för hamnanlöp främst därför att Västerås KVV har egen hamn. Specifika kostnaden endast för skeppstransport från Västerås KVV till Göteborg inklusive det behov för mellanlager som detta fordrar har då beräknats till mellan 190 och 195 SEK/ton vilket kan jämföras med preliminär och indikativ prisuppgift från Green Cargo för tågtransport till Göteborg på 128 SEK/ton. Vid tågtransport tillkommer dock kostnaden för hamnanlöp till Göteborg hamn, uppskattningsvis mellan 10 och 15 SEK/ton²⁵ samt kostnaden för hyra av plats för lagringstankar och utilities i hamnen.

²⁵ Anlöp av 13 500 tons fartyg till ospecificerad hamn i Sverige har av flera hamnar i Sverige uppgetts till ca 190 000 SEK per anlöp vilket ger 14 SEK/ton.

Den viktigaste slutsatsen som kan dras från beräkningarna gjorda inom ostkustklustret är att generellt kommer större fartyg leda till minskade kostnader för en given sträcka men samtidigt finns det en övre gräns där skeppets kostnader blir så stora att det i stället kommer vara mer lönsamt att satsa på flera mellanstora skepp. Till exempel, vid användning av 2 skepp i stället för 1 skepp så halveras lagringskostnaderna.

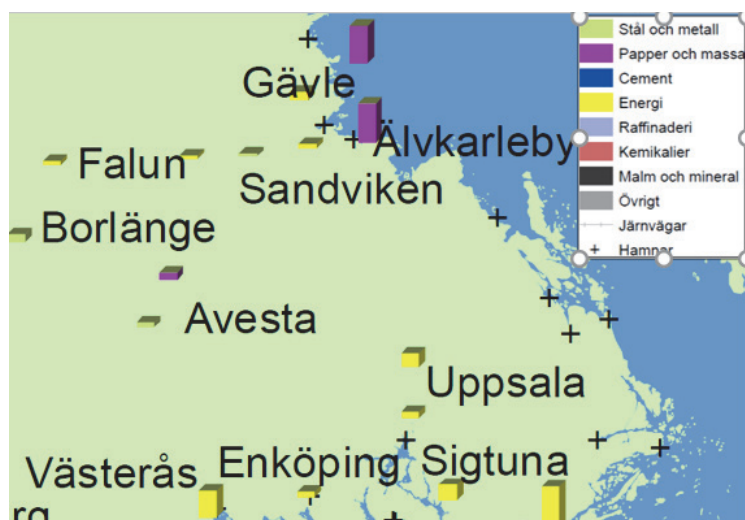
En annan viktig slutsats är att för anläggningar belägna på västsidan av Mälaren kan tågtransport till västkusten för vidare fartygstransport till Kollsnes därifrån vara ett attraktivt alternativ av främst två skäl. För det första på grund av den långa omloppstiden över Mälaren och längs med hela ost- och sydkusten. För det andra på grund av de begränsningar som sätts på fartyg på Mälaren – även efter pågående arbeten som kommer göra det möjligt att använda fartyg med en lastkapacitet på runt 9 000 ton, jämfört med dagens 5 800 ton.

Slutligen, för små anläggningar, typ Nordkalk, så är kostnaderna för egen transport till Kollsnes så höga att det enda realistiska alternativet är att samarbeta med andra anläggningar.

8.4 KLUSTER GÄVLE

8.4.1 Beskrivning av kluster

Kartan i Figur 18 visar klustrets omfattning. De anläggningar som analyserats i klustret sammanfattas i Tabell 6.



Figur 18. Karta över Kluster Gävle. De olika staplarna markerar olika anläggningar där höjd motsvarar utsläppsstorlek och färg aktuell sektor (enligt förklaring i figuren). Plustecken avser hamnar.

8.4.2 Kostnadsberäkningar kluster Gävle

För samtliga anläggningar har kostnaden beräknats för enskilt egen transport från egen hamn - eller som i Vattenfalls och Västerås fall, från Gävle hamn - till Kollsnes-terminalen utanför Bergen i Norge. Transportkostnaden från Västerås och Uppsala till Gävle hamn har alltså inte inkluderats i beräkningarna. Skälet till det

är att vi vid tidpunkten för beräkningarna inte hade fått några kostnadsöverslag från relevanta tåg- och lastbilstransportörer. Transportdistansen är mellan 1 835 och 1 845 km enkel väg vilket ger en omloppstid på 7 dygn. Kostnaden för Västerås KVV har tagits fram i 2 fall; årsflödet av infångad koldioxid fördelat jämnt över 8 000 timmar per år och samma årsflöde baserat på varierande flöde där högsta flödet under året är 106,5 ton/timme, i Tabell 6 och Tabell 7 benämnt "Västerås KVV Peak".

I Tabell 7 visas omloppstiden, fartygsstorleken samt specifika kostnaden utgående från 25 års avskrivning för de enskilda anläggningarna. Kostnaderna inkluderar förvätskning, mellanlager, transport och all kringutrustning så som pumpar, rör, lastar och kostnader relaterad till utilities som försörjning av el och kylvatten.

Tabell 6. Studerade anläggningar i Kluster Gävle. Siffror refererar till anläggningar inom energi- och avfallsbranschen och bokstäver övrig industri. Fetmarkerade företag är finansierare av projektet. Systemets designflöde har baserats på jämnt flöde under 8 000 driftstimmar per år. Västerås KVV har dessutom analyserats utgående från sitt högsta flöde under ett driftsår, nedan benämnt "Västerås KVV Peak"

Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar	Transporterad CO ₂ (ton/år)	System design-flöde ton/h
1. Boländeranläggningarna	Vattenfall Värme	Harg, Gävle (flera)	346 500	43,3
2. Västerås KVV	Mälarenergi	Västerås (egen hamn), Gävle (flera)	637 000	79,6
2. Västerås KVV PEAK	Mälarenergi	Västerås (egen hamn), Gävle (flera)	637 000	106,5
3. Johannes KVV	Gävle Energi	Gävle (flera)	101 700	12,7
A. Skutskärs pappersbruk	Stora Enso	Egen hamn	1 040 400	130,1
B. Korsnäsverken	BillerudKorsnäs	Egen hamn	970 200	121,3
Exempel på andra fjärrvärmeanläggningar finns i närområdet				
Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar		
4. Bomhus Energi	Bomhus Energi	Gävle (flera)		
5. Västermalmsverket	Falu Energi & Vatten	Gävle (flera)		
6. Bäckelundsverket	Borlänge Energi	Gävle (flera)		

Tabell 7. Omloppstid, fartygsstorlek och specifika kostnaden vid egna transportsystem från Gävle (25 års avskrivning, 8% diskonto)

	Omloppstid, dygn	Skeppsstorlek, ton	Specifik kostnad över 25 år, SEK/ton
Boländeranläggningarna	7	8 021	594
Västerås KVV	7	14 661	491
Västerås KVV Peak	7	19 608	624
Johannes KVV	7	2 397	940
Skutskärs pappersbruk	7	23 833	438
Korsnäsverken	7	22 133	443

Tabell 7 visar en klar korrelation mellan fartygsstorlek och kostnad. Som väntad har de stora skogsindustrierna den lägsta kostnaden medan Johannes KVV har den klart högsta kostnaden. Johannes KVV i Gävle måste sannolikt söka samarbete med andra aktörer för att få ner kostnaden men måste ändå räkna med ensamt ta kostnaderna för förvätskning och mellanlager vilket tillsammans utgör 38% av specifika kostnaden. Tabell 7 visar också en stor påverkan på kostnaden vid varierande flöde, i Västerås KVV:s fall så ökar specifika kostnaden med 27% om anläggningen skulle välja att ha full infångning året runt.

För att se effekten från samarbete beräknade vi också för Gävle-klustret ut kostnaden för två fall där anläggningarna delade fartyg, nämligen; fall 1 där Korsnäsverken, Boländeranläggningarna och Västerås KVV delade fartyg och fall 2 där Skutskärs pappersbruk delade fartyg med Cementa Slite där vi denna gång antog full infångning, dvs 1,6 miljoner ton per år. I Västerås fall utgick vi från ett jämnt flöde under året, det vill säga nära 80 ton/timme. I båda fallen blev fartygen så stora att vi fick använda två fartyg vilket samtidigt halverade omloppstiden och kostnaderna för mellanlager jämfört med om vi hade använt ett enda fartyg.

Tabell 8 sammanfattar resultaten och visar transporterad mängd, designflöden, omloppstid, storlek på fartyget till Kollsnes samt specifika kostnaden över 25 år för de två fallen.

Tabell 8 Systemparametrar och kostnader för delade transportsystem från Gävleområdet och övriga studerade anläggningar

	Transporterad CO ₂ , ton	System designflöde, ton/h	Omloppstid, dygn	Skeppsstorlek, ton	Specifik kostnad över 25 år, SEK/ton
Fall 1: Korsnäsverken, Boländeranläggningarna, Västerås KVV	1 953 700	244	4	25 662	401
Fall 2: Skutskär, Cementa Slite	2 640 000	330	4	34 462	358

Klusterlösningarna för Gävle är långt ifrån optimala, exempelvis måste fartyget i fall 2 gå med endast 40% last från Skutskär till Slite. Att någon del av systemet inte är optimal påverkar självfallet alla parter i systemet, i detta fall även Cementa. Samtidigt gäller också, som i ostkustklustret (och vid alla samarbeten) att samtliga parter måste påräkna kostnader som står i proportion till deras andel av totalflödet och sträckan i det system de medverkar. I fall 1 subsidierar det större Korsnäsverket de mindre anläggningarna i Västerås och Uppsala (Boländeranläggningarna) som båda också måste räkna med uppskattningsvis ytterligare 130-150 SEK/ton för transporten till Gävle hamn²⁶.

De viktigaste slutsatserna som kan dras från arbetet med Gävleklustret är dels att ett optimalt system där flera aktörer medverkar tillsammans fordrar att fartyget har full last över så stor del av transportsträckan som möjligt, alltså att aktörerna ligger nära varandra. En annan viktig slutsats som kan dras är att det riskerar bli

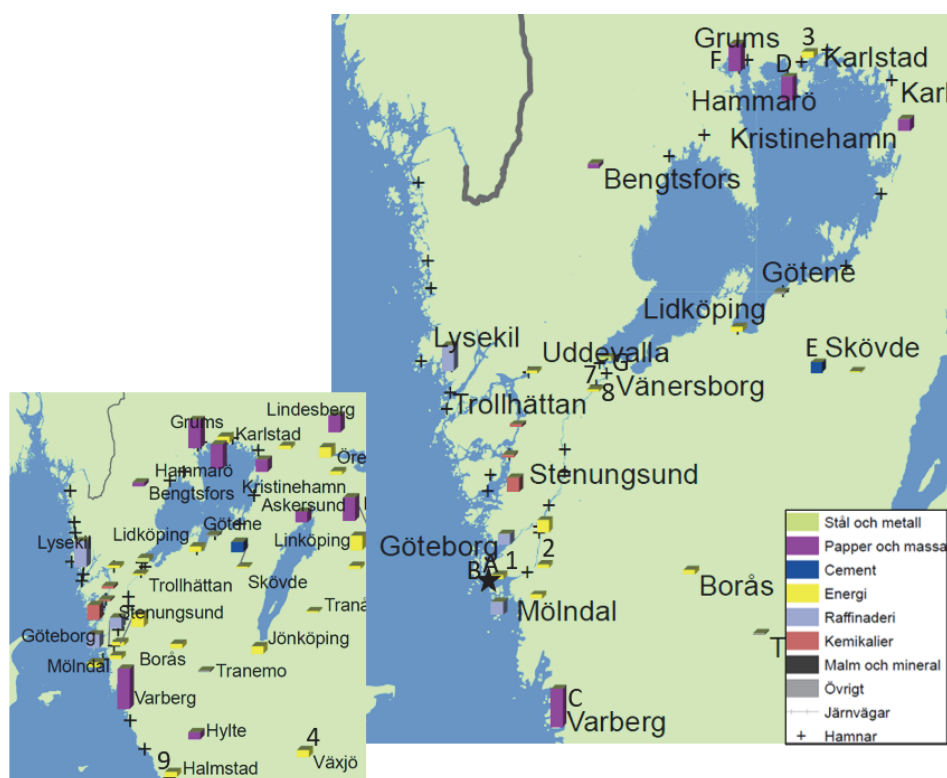
²⁶ Denna kostnad baseras på de initiala samtal projektet har fört med Green Cargo och de preliminära beräkningar som gjorts av Green Cargo och inom projektet för tågtransport av koldioxid

kostsamt om en aktör behöver designa sitt system utifrån ett flöde med stora variationer.

8.5 KLUSTER VÄSTKUSTEN/VÄNERN

8.5.1 Beskrivning av kluster

Figur 19 visar karta över kluster Västkusten-Vänernområdet. De anläggningar som sammantaget analyserats i klustret sammanfattas i Tabell 9. Siffror i röd font indikerar designflödet (dvs max-flödet) från anläggningar som har varierande flöde under året.



Figur 19 Karta över Kluster Västkusten/Vänern. De olika staplarna markerar olika anläggningar där höjd motsvarar utsläppsstorlek och färg aktuell sektor (enligt förklaring i figuren). Nummer och bokstäver kopplar till anläggningarna i Tabell 9. I den lilla kartan syns även Växjö Energis och Halmstad Energi & Miljö anläggningar (4 resp. 5). Stjärnor avser hamnar som identifierats som intressanta av klustrets aktörer, medan plustecken avser övriga hamnar.

Tabell 9. Studerade anläggningar i Kluster Västskusten/Vänern. Numrering avser lokalisering på karta i Figur 19 (siffror refererar till anläggningar inom energi- och avfallsbranschen och bokstäver övrig industri). Fetmarkerade företag är finansörer av projektet. Siffror i **röd font** indikerar max-flödet för anläggningar som har varierande flöden under året. Källa: Utsläppsstatistik samt svar på enkät till finansörerna.

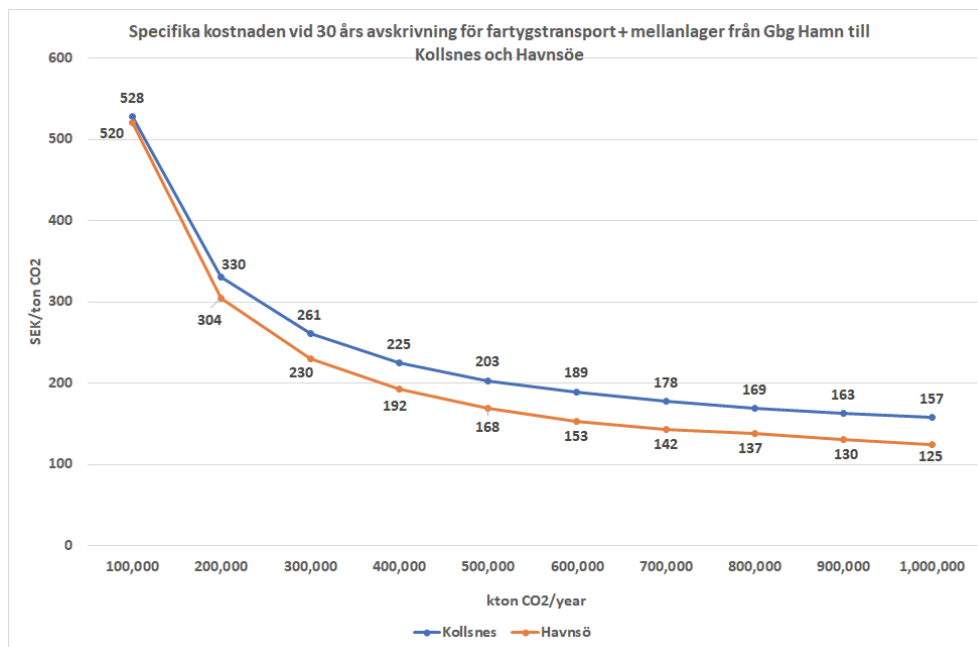
Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar	Transporterad CO ₂ (ton)	System designflöde ton/h
1. Rya biopanna (ny)	Göteborg Energi	Göteborgs hamn	175 000	21,9
2. Sävenäs	Renova	Göteborgs hamn	492 000	61,5
3. Hedenverket	Karlstads Energi	Göteborgs hamn	225 000	80,0
4. Sandviksverket	Växjö Energi	Göteborgs hamn	180 000	43,0
5. Västerås KVV	Mälarenergi	Göteborgs hamn	637 000	106,5
A. St1-raffinaderiet	St1	Göteborgs hamn	411 000	51,4
B. Preemraff Göteborg	Preem	Göteborgs hamn	513 000	64,1
C. Värö pappersbruk	Södra	<i>Ingen uppgift</i>	1 550 000	193,8
D. Skoghalls pappersbruk	Stora Enso	Göteborgs hamn (via Vänern)	924 000	115,5
E. Skövdefabriken	Cemeta	Göteborgs hamn (via Vänern)	396 000	49,5
F. Gruvöns pappersbruk	BillerudKorsnäs	Göteborgs hamn (via Vänern)	1 080 000	135,0
G. Vargön Alloys	Vargön Alloys	Göteborgs hamn (via Vänern)	164 000	20,5
H. Preemraff Lysekil	Preem	Brofjorden (Preems egen)	999 000	124,9
Exempel på andra fjärrvärmeanläggningar som finns i närområdet				
Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar		
7. Lillesjö avfalls-KVV	Uddevalla Energi	<i>Ingen uppgift</i>		
8. Stallbacka värmeverk	Trollhättan Energi	<i>Ingen uppgift</i>		
9. Kristinehedverket	Halmstads Energi & Miljö	<i>Ingen uppgift</i>		

8.5.2 Kostnadsberäkningar kluster Västskusten/Vänern

Det gjordes inga kostnadsberäkningar för specifika anläggningar i Västskusten/Vänern-klustret då så många anläggningar med olika utsläppsprofil (från 164 – 1550 kton/år) ingår i klustret. I stället gjordes två kostnadsberäkningar för fartygstransport inklusive mellanlager på Göteborgs hamn som funktion av ökande volym till två potentiella lagringsterminaler; till Kollsnes utanför Bergen och till Kalundborg på nordvästra Själland där Havnsøstrukturen är lokaliserad. Beräkningarna gjordes för 100 kton/år upp till 1 Mton/år (till Kollsnes gjordes även beräkningarna för 1,5 och 2,0 Mton/år).

Resultaten visar återigen ett mycket tydligt volymberoende vilket illustreras i Figur 20 som jämför specifika kostnaden till Kollsnes respektive Havnsø. Figur 20

visar också lägre kostnader till Havnsø vis-a-vis Kollsnes vilket är naturligt eftersom avståndet till Kollsnes är nästan tre gånger avståndet till Havnsø²⁷.



Figur 20. Jämförelse specifika kostnaden för fartygstransport inklusive mellanlager från Göteborgs hamn till Kollsnes respektive Kalundborg på Själland som funktion av ökande volym.

Tabell 10 och Tabell 11 visar totala kapitalinvesteringen i mellanlagret och fartyget plus årliga driftskostnader för det samma för transporten till Kollsnes respektive Kalundborg samt fartygens nyttolast (vikten av koldioxiden de fraktar plus vikten av tankarna som förvarar koldioxiden).

Tabell 10. Totala kapitalinvesteringen och årliga kostnaderna för lagringssystemet och fartyget vid transport från Göteborgs hamn till Kollsnes.

CO ₂ -flöde ton/år	Fartygets nyttolast, ton	CAPEX, MSEK		OPEX, MSEK/år	
		Lagringssystem	Fartyg	Lagringssystem	Fartyg
100 000	1 066	34	114	1,4	38,3
200 000	2 036	68	173	2,7	41,9
300 000	3 005	102	223	4,1	45,2
400 000	3 975	135	268	5,4	48,6
500 000	4 945	169	309	6,8	52,2
600 000	6 011	203	350	8,1	56,2
700 000	6 981	237	386	9,5	59,4
800 000	7 950	271	420	10,8	62,9
900 000	8 920	305	453	12,2	66,9
1 000 000	9 890	339	484	13,5	70,5
1 500 000	14 835	508	630	20,3	85,3
2 000 000	19 780	677	760	27,1	103,5

²⁷ Se vidare i avsnitt 7, samt fotnot 19.

Tabell 11. Totala kapitalinvesteringen och årliga kostnaderna för lagringssystemet och fartyget vid transport från Göteborgs hamn till Kalundborg.

CO ₂ -flöde ton/år	Fartygets nyttolast, ton	CAPEX, MSEK		OPEX, MSEK/år	
		Lagringssystem	Fartyg	Lagringssystem	Fartyg
100 000	743	23	90	0,9	41,1
200 000	1 389	45	135	1,8	43,0
300 000	2 036	68	173	2,7	44,8
400 000	2 682	90	207	3,6	46,7
500 000	3 329	113	239	4,5	48,4
600 000	3 975	135	268	5,4	50,6
700 000	4 622	158	295	6,3	53,0
800 000	5 364	181	325	7,2	57,7
900 000	6 011	203	350	8,1	60,0
1 000 000	6 657	226	374	9,0	62,3

Specifika kostnaden för lastbilstransport till Göteborgs hamn beräknades till 102 SEK/ton för Renova Sävenäs, till 210 SEK/ton från Vargön och Skövde och till runt 310 SEK/ton från anläggningar belägna kring Karlstad (Hedenverket och Stora Enso Skoghall). Tågtransport från Karlstad regionen till Göteborgs hamn har preliminärt uppskattats av Green Cargo till runt 130 SEK/ton.

Emellertid så har t ex Green Cargo redan frakt från Göteborg till Karlstad så där finns en viss potential för att minska kostnaderna om transportererna kan samordnas.

Koldioxiden kan även tänkas fraktas med älv-pråm längsmed Göta Älv till Göteborgs hamn och kanske även hela vägen till Kollsnes. Fartygen på Göta Älv begränsas dock av gällande bestämmelser för farleden. De kan vara maximalt 89 meter långa och 13,4 meter breda med en maxhastighet på 9-10 knop och kan lasta maximalt 4 100 ton. Omloppstiden från Lidköping (t ex Cementa Skövde) till Göteborgs hamn är ca 40 timmar vilket betyder att varje fartyg kan frakta maximalt ca 900 kton per år om det går dygnet runt året runt. Slussarna är den stora begränsningen och det pågår arbeten med slussarna för att kunna tillåta fartyg med en längd på 110 meter och en bredd på 16,5 meter vilket betyder att lastkapaciteten kan ökas till mellan 5 000 och 5 500 ton. Enligt kontakter med projektledaren på Trafikverket som står för arbetet med slussarna så kommer dock inte detta bli fullt färdigt förrän omkring 2040.

De viktigaste slutsatserna som kan dras från arbetet med Västkusten/Vänernklustret är att det finns goda förutsättningar för samarbete på flera plan, möjligtvis även på förvätskningssidan för anläggningarna kring Göteborgs hamn vilket bland annat har indikerats av CinfraCap-projektet. Det finns ett flertal stora biogena och fossila utsläppskällor inte bara i Göteborg (t ex i Vänernområdet) som kan utgå från Göteborgs hamn. Göteborg har också en utmärkt utgångspunkt med sin närhet till andra potentiella lagringsplatser i Danmark. Slutligen, som beräkningarna ovan visar, så finns en potential för att minska kostnaderna genom att samverka framförallt kring fartygstransport.

8.6 KLUSTER SKÅNE/DANMARK

8.6.1 Beskrivning av kluster

Figur 21 visar karta över kluster Skåne/Danmark. De anläggningar som sammantaget analyserats i klustret sammanfattas i Tabell 12.



Figur 21. Karta över Kluster Skåne/Danmark. De olika staplarna markerar olika anläggningar där höjd motsvarar utsläppsstorlek och färg aktuell sektor (enligt förklaring i figuren). De grå linjerna visar befintliga tågförbindelser. Plustecken avser hamnar.

8.6.2 Kostnadsberäkningar kluster Skåne/Danmark

Kostnadsberäkningarna för Skåneklustret gjordes dels för fartygstransport som funktion av ökande volym från Malmö hamn och hamn i Helsingborg²⁸ till 3 olika lagringsterminaler i Kollsnes, Hanstholm (på Jyllands nordvästkust) och Kalundborg (Havnsøreservoaren) och dels som rörtransport från Malmö hamn till Havnsø/Kalundborg.

Tabell 13 visar tillämpad avstånd för fartygen från hamnarna i Malmö och Helsingborg till respektive lagringsterminal.

²⁸ Det är främst Kemiras hamn i Helsingborg som kan vara av intresse.

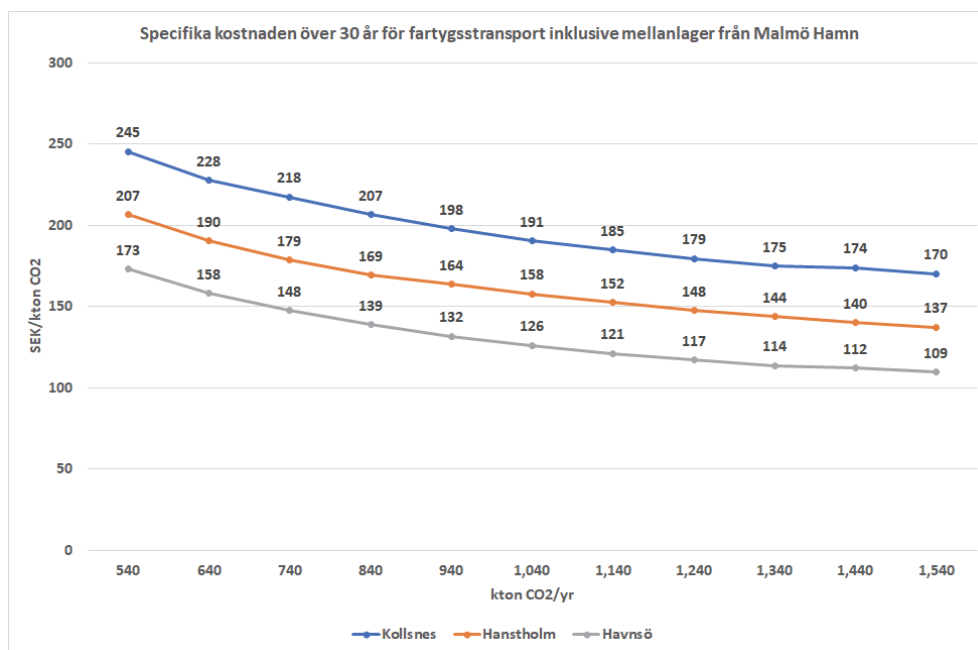
Tabell 12. Studerade anläggningar i Kluster Skåne/Danmark. Siffror refererar till anläggningar inom energi- och avfallsbranschen och bokstäver övrig industri. Fetmarkerade företag är finansierare av projektet. Röd font i kolumnen för system designflöde indikerar max-flödet vid varierande volym/drift under året.

Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar	Transporterad CO ₂ (ton)	System designflöde (ton/h)
1. Filbornaverket	Öresundskraft	Helsingborg, Malmö	193 000	24,1
2. Sysav	Sysav	Malmö	540 000	79,0
3. Heleneholmsverket	E.ON	Malmö	75 000	9,4
4. Örtoftaverket	Kraftringen	Malmö, Helsingborg	210 000	45,0
5. Sandviksverket	Växjö Energi	Malmö	180 000	43,0
Exempel på andra anläggningar som finns i närområdet				
Anläggning	Företag	Tänkbara hamnar		
A. Nymölla pappersbruk	Stora Enso	Malmö, Helsingborg		
B. Mörrums pappersbruk	Södra	Malmö, Helsingborg		
C. Kemira	Kemira	Helsingborg		

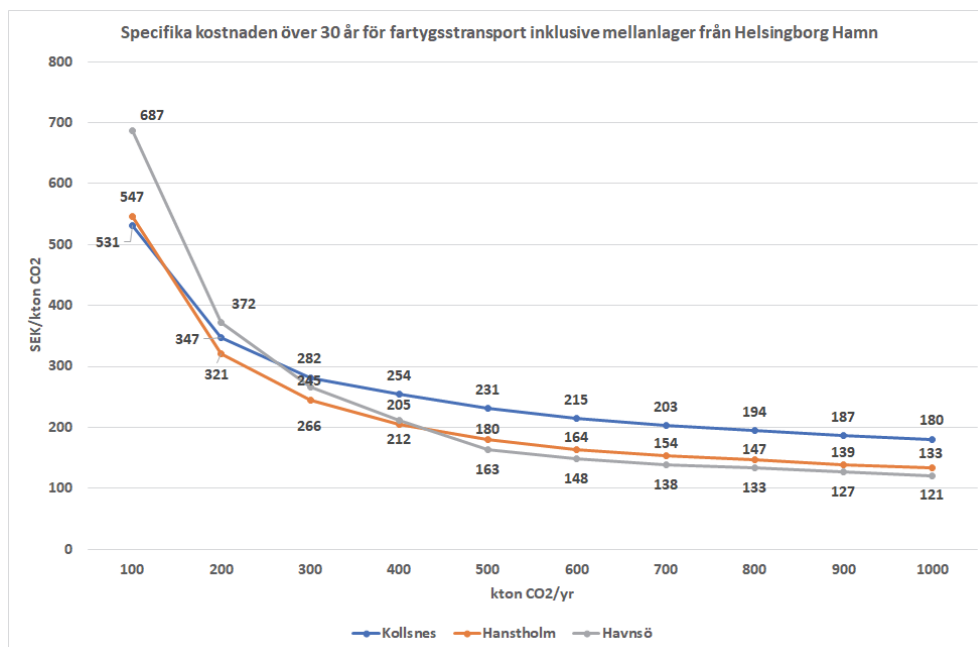
Tabell 13. Tillämpade transportavstånd för fartyg från Malmö hamn och hamn i Helsingborg till de tre lagringsterminalerna.

	Avstånd till lagringsterminal, km		
	Havnsø	Hanstholm	Kollsnes
Malmö Hamn	180	460	860
Helsingborg Hamn	130	410	810

Från Malmö hamn startade beräkningarna på flödet som angavs för SYSAVs anläggning, dvs 540 kton per år och ett maxflöde på 79 ton per timme och ökades därefter med 100 000 ton per år fördelat över 8 000 timmar. Beräkningarna gjordes för flöden mellan 540 kton/år och 1 540 kton per år. Från hamn i Helsingborg startade beräkningarna på 100 kton/år och ökades med 100 kton per år upp till 1 miljon ton per år. Figur 22 visar kostnaderna från Malmö hamn till de tre lagringsterminalerna medan Figur 23 visar motsvarande kostnader från hamn i Helsingborg. Kostnaderna inkluderar fartygstransporten och mellanlager inklusive relevant utrustning så som lastarmar, rör, pumpar mm. När det gäller kostnaderna till Havnsø hamn hänvisas till avsnitt 7 och fotnot 19.



Figur 22. Specifika kostnaden över 30 år som funktion av ökande flöde för fartygsstransport och mellanlager från Malmö hamn till lagringsterminal på Kollsnes, Hanstholm och Havnsø (Kalundborg). Transporterad volym startar från 540 ktøn/år och ett designflöde på 79 ton/h utifrån angivet flöde från SYSAV. Flöden över 540 ktøn/år har fördelats jämnt över 8 000 h/år.



Figur 23. Specifika kostnaden över 30 år som funktion av ökande flöde för fartygsstransport och mellanlager från hamn i Helsingborg till lagringsterminal på Kollsnes, Hanstholm och Havnsø (Kalundborg). Som det framgår av både Figur 22 och Figur 23 så minskar kostnaderna som funktion av volym och – som väntad – i Figur 22 också som funktion av minskande transportsträcka. Däremot gör den inte det för volym upp till och med 400 ktøn/år från hamn i Helsingborg. Skälet till detta är främst att när avstånden blir så korta som till Havnsø så hinner det bli väldigt många hamn-anlöp per år vilket gör hamn-kostnaderna till den enskilt största kostnadsdelen i systemet. För 100 till 400 ktøn/år så utgör hamnkostnader mellan 52% och 61% av specifika kostnaden för därefter att sjunka till mellan 28% och 30% för 500 ktøn/år eller mera vilket även det sannolikt är för högt, varför det blir så förklaras i avsnitt 7 och fotnot 19.

Det har också uppskattats kostnader för rörtransport av 540 kton/år från Malmö hamn till Havnsø reservoaren utanför Kalundborg. Avståndet uppmättes till 115 km i GIS (Geografisk Informations-system) varpå 20% lades till för landbaserade rör, vilket gav en rörlängd på 138 km. Röret antogs vara av manganstål, koldioxiden komprimerades upp till 70 bar i fyra steg medan pump användes för att höja trycket vidare till 90 bar. Specifika kostnaden beräknades i två fall; 540 kton respektive 2 miljoner ton/år i rör med 10 respektive 12 tums diameter. Rörkostnaden antogs till 10 000 SEK (10 tums) respektive 12 000 SEK (12 tums) per meter inklusive planering, grävning, svetsning, läggning mm. OPEX för röret sattes till 1% per år av rörets CAPEX medan OPEX kompressor/pump bestod av kostnaden för el, personal, kylvatten och underhåll. Kostnads-underlaget som använts har tagits från NORDICCS-projektet och efter diskussioner med Sintef i Norge. Tabell 14 ger en översikt över de viktigaste parametrarna för rörtransporten samt kostnaderna.

Tabell 14. Kostnader för rörtransport av 540 kton CO₂ från Malmö hamn till Havnsøreservoaren.

Volym, ton/år	Pipeline diameter, tum	Kompressor effektbehov, kWe	Kompressor/Pump		Pipeline		Specifika kostnaden, 8% diskonto, SEK/ton	
			Capex, MSEK	Opex, MSEK/år	Capex, MSEK	Opex, MSEK/år	25 år	30 år
540000	10	6952	122,3	36,3	1380	13,8	261,5	247,6
2000000	12	22000	316,6	109,1	1656	16,6	92,7	87,8

Som framgår av tabellen så uppnås en betydande kostnadsminskning genom att höja volymen från 540 kton till 2 miljoner ton/år.

Den stora fördelen med rörtransport uppkommer om röret kan gå direkt från anläggningen till reservoaren/injektionspunkten eftersom då behövs inga mellanlager och endast en fasomvandling. Dessutom, som framgår från Tabell 13 så kan kostnaden minska snabbt om volymerna höjs.

Sammanfattningsvis när det gäller Skåneklustret så kan det påpekas att precis som för Västkustklustret så är närheten till Danmark och då särskilt Kalundborg särskilt intressant eftersom det bl a öppnar för transport med rör. Man kan också tänka sig samarbeten med Danska utsläppskällor belägna i t ex Köpenhamn, Amager Resource Center (ARC, avfallskraftvärmeverk) startade upp sin pilotanläggning för CO₂-infångning i juni i år. Planen till ARC är att till 2025 kunde fånga in och lagra uppemot en halv miljon ton koldioxid årligen (ARC, 2021). ARC ingår i C4-klustret (Carbon Capture Cluster Copenhagen) där flera anläggningar i Köpenhamn regionen samt Copenhagen Malmö Port (CMP) samarbetar för att undersöka möjligheterna för gemensam CCS infrastruktur.

9 Sammanfattande slutsatser om de identifierade klustren

Det finns många faktorer som inverkar på huruvida det är lönsamt eller inte att samverka kring infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid. Här sammanfattar vi de slutsatser som har dragits av de analyser som genomförts inom arbetspaketet vad gäller de identifierade potentiella regionala klustren för samverkan kring infrastrukturen.

9.1 MÅNGA FAKTORER INVERKAR PÅ OM DET ÄR LÖNSAMT ATT SAMVERKA ELLER INTE

Kostnaden för förvätskning (och/eller kompression) av koldioxid är starkt volymerberoende, dvs den specifika kostnaden per ton minskar betydligt vid ökande volym. Samtidigt är det få infångningsanläggningar som ligger så nära varandra att de kan uppnå denna volymeffekt eftersom det fordrar att koldioxiden måste fraktas i gasfas (lågt tryck, 2 bar) eller vätskefas (mellantryck, runt 18 bar) från infångning fram till förvätskningsanläggningen eller kompressorn. Samma effekt gör också att den specifika kostnaden ökar om förvätskningsanläggningen måste hantera variabla flöden eftersom effektbehov dimensioneras enligt det maximala flödet som går genom systemet vid varje tidpunkt.

Kostnaden för skeppstransport minskar betydligt vid större volym, dvs om t ex flera anläggningar kan dela skepp. Om skeppets omloppstid ökar så ökar dock kostnaden för mellanlager, dvs om skeppet t ex behöver anlöpa flera hamnar för att samla ihop volym så ökar kostnaden för mellanlager. Det är osäkert hur stora skepp som kan användas bl a beroende på skeppets djupgående och hamnens möjlighet att ta emot olika storlekar. Northern Lights²⁹ ser på möjligheterna att använda 20 000-30 000 m³ stora skepp. I detta projekt har vi utgått från skepp uppåt till 40 000 m³ vilket t ex motsvarar transport av ca 1,75 Mt/år från Skutskär till Kollsnes i Norge, om vi utgår från att flödet fördelar sig jämnt över 8 000 timmar/år. Likaså, ju längre avstånd till lagringsplatsen desto större kostnader för mellanlager på grund av ökad omloppstid. Till exempel är det ca tre gånger så långt från Göteborg till Kollsnes som från Göteborg till Kalundborg, där Havnsøreservoaren ligger³⁰. Å andra sidan så ökar hamnkostnaderna vid kortare avstånd eftersom det innebär flera hamnanlöp (se emellertid fotnot 19).

Rörtransport har hög CAPEX men låg OPEX, vilket leder till att den positiva kostnadseffekten kan bli betydande vid ökande volym (skeppstransport har framför allt hög OPEX). Beroende på avstånd så finns det en tröskelvolym där kostnaden minskar mycket snabbt, dvs ju kortare avstånd desto lägre volym fordras för att nå denna nivå. Från västkusten till Havnsø är det så pass kort avstånd att rörtransport kan bli kostnadseffektivt, men det kommer kräva ganska

²⁹ <https://northernlightsscs.com/>

³⁰ Havnsø är inte heller certifierad som lagringsplats än.

stora volymer enligt beräkningar gjorda i NORDICCS-projektet³¹. Även kostnaden för tågtransport kan leda till lägre kostnader vid samarbeten och större volymer.

9.2 SPECIFIKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DE IDENTIFIERADE KLUSTREN

Projektet har identifierat fyra huvudsakliga kluster för lokal samverkan kring olika delar av logistikkedjan. De fyra klustren är Västkusten/Vänern, Skåne/Danmark, Ostkusten/Mälardalen samt Gävleområdet. De fyra klustren valdes baserat på lokalisering och storlek av punktutsläpp från såväl fjärrvärmesektorn som från andra sektorer, på möjlig samverkan kring lokal logistik samt på möjlig samverkan kring utsklepning av koldioxid till lagringsplats.

Klustret Västkusten/Vänern har stora fördelar med gynnsam lokalisering av Göteborgs Hamn och ett flertal industrier som kan samverka lokalt. Projektet CinfraCap detaljanalyserar just dessa möjligheter och de har kommit långt i planeringen. Göteborg kan också fungera som en "hubb" för samordning av koldioxid även från anläggningar längre bort. Vid Vänern och längs Göta Älv finns exempelvis ett flertal anläggningar som skulle kunna transportera koldioxid till Göteborg. Här finns dock begränsningar i fartygsstorlek. Tågtransport kan då vara ett alternativ. Även andra anläggningar kan ansluta till Göteborg genom transport med fartyg, rörledning eller tåg/lastbil. Flera fjärrvärmeföretag ser detta som rimligt alternativ, även anläggningar som ligger relativt långt bort från Göteborg. Transport av koldioxid från Göteborg till lagringsplats kan alltså samordnas mellan ett flertal anläggningar, vilket innebär betydligt lägre kostnader.

Som exempel har beräkningar i projektet visat att kostnaden för fartygstransport (inklusive mellanlager men exklusive förvätskning) till den norska lagringsplatsen utanför Kollsnes sjunker från 535 SEK/ton till 160 SEK/ton om den transporterade koldioxidvolymen ökar från 100 kton/år till 1 Mton/år³². Förutom nämnda lagringsplats finns även ett antal andra tänkbara lagringsplatser inom rimliga avstånd, i exempelvis Danmark. Vissa av dessa skulle även kunna nås med rörledning, vilket kan sänka kostnaderna ytterligare.

Klustret Skåne/Danmark är kanske främst intressant på grund av potentiell samverkan med danska anläggningar inklusive tänkbar transport med rörledning till en akvifär som kan nås från Själland (Havnsø). Lagring i denna akvifär ligger förmodligen ganska långt fram i tiden, mer rimligt på kort sikt är sannolikt fartygstransport till andra lagringsplatser i exempelvis Norge eller Danmark. I Danmark pågår flera initiativ för att utreda möjliga lagringsplatser samt infrastruktur för lokal och regional samverkan. CMP (*Copenhagen Malmö Port*) är engagerade i detta arbete och kan komma att bli en länk mellan Sverige och Danmark. Både i fallet med samverkan kring koldioxidlogistik med danska anläggningar och vid utsklepning från hamnen i Malmö. Kemiras hamn i Helsingborg är ett annat alternativ som har nämnts som tänkbar inom klustret. Klustret innebär i övrigt inte samma möjligheter till lokal samverkan som i Göteborg, då anläggningarna ligger relativt utspridda i förhållande till varandra.

³¹ <https://www.sintef.no/en/projects/2011/nordiccs-nordisk-ccs-kompetansesenter/>

³² Se även avsnitt 7 och specifikt fotnot 19 kring kostnader för fartygstransport inklusive hamnkostnader.

Samverkan inom detta kluster handlar därför sannolikt främst om utskeppning och lagring.

Klustret Ostkusten/Mälardalen innehåller ett flertal anläggningar varav de flesta är fjärrvärmeverk. De ligger dock relativt utspritt så det finns inte så stora möjligheter till lokal samverkan. Samverkan handlar istället om att minska kostnaderna för utskeppning till lagringsplats genom att dela fartyg på ett optimalt sätt. Fartygstransport från anläggningar belägna kring Stockholmsområdet och Mälardalen till Kollsnes i Norge tar mellan 6-7 dygn, vilket innebär stora omkostnader för mellanlager. Vid transport genom Mälaren finns dessutom begränsningar i maximal nyttolast. Den specifika kostnaden minskar med större fartyg, men ett ökat antal fartyg har istället fördelen att omloppstiden och därmed kostnaden för mellanlager minskar. Det mest ekonomiskt optimala behöver alltså inte nödvändigtvis vara största möjliga fartyg.

Som exempel har Chalmers inom ramen för ZERO-projektet beräknat kostnader för samarbete kring fartygstransport mellan Värtaverket, Cementa Slite och Södra Mönsterås. Beräkningarna visar att det mest optimala ur kostnadssynpunkt är att dessa tre anläggningar delar på två fartyg. Det ger lägre totala kostnader jämfört med antingen varsitt fartyg eller ett enda gemensamt fartyg. Kostnadsbesparingen behöver dock fördelas mellan de olika samarbetande anläggningarna, baserat på bland annat anläggningarnas andel av totala mängden koldioxid och deras individuella transportsträcka till lagringsplatsen. För kluster Ostkusten/Mälardalen är det alltså troligt att samverkan främst kommer att ske kring fartygstransport. Antalet fartyg kommer bland annat att avgöras av hur väl olika anläggningars CCS-planer tajmar med varandra samt hur koldioxidflödena matchar över året mellan olika anläggningar. Möjligen skulle samarbete också kunna underlättas om en tredjepartsaktör tar ansvar för logistiken att hämta upp koldioxid från olika anläggningar och gemensamt transportera till lagringsplats.

Kluster Gävle är främst intressant då det finns två stora skogsindustriella anläggningar med både höga koldioxidflöden och mycket gynnsamma lägen. Förutom dessa anläggningars egna hamnar finns även Gävle hamn som tänkbar hubb/utskeppningshamn. Det finns även två fjärrvärmeanläggningar lokalt i detta kluster samt ett antal anläggningar som skulle kunna ha Gävle som tänkbar utskeppningsort. Lokal samverkan ur ett fjärrvärmeperspektiv är troligen begränsat till de två lokala anläggningarna som skulle kunna samverka med de större industrierna. Annars ter sig största samverkansvinsten vara gemensam fartygstransport från hamn till lagringsplats.

Som ett exempel har beräkningar i projektet visat att den specifika kostnaden för transport från Gävle hamn till slutlagringsplats för Vattenfall Uppsala och Mälarenergi minskar kraftigt genom att dela fartyg med t ex den större anläggningen Korsnäsverken. Kostnaden skulle då minska från ca 600 SEK/ton om de använder varsitt fartyg till 430 SEK/ton jämfört med om de delar fartyg med Korsnäsverken (se fotnot 19). Men det är viktigt att understryka även i detta fall att Korsnäsverken då inte är kompenserad för sin betydligt högre andel av totallasten. Detta skulle minska Korsnäsverkens kostnad något och öka Vattenfalls och Mälarenergis kostnad något.

Sammanfattningsvis ser vi inom projektet främst tre möjliga samverkansalternativ:

1. En hubb i Göteborg varifrån koldioxid skeppas ut till lagringsplats. Koldioxiden kan komma från såväl lokala anläggningar som kan samverka kring lokal logistik, men också från mer avlägsna anläggningar som transporterar koldioxiden till Göteborg med rörledning, fartyg, tåg eller lastbil.
2. En hubb i Malmö med gemensam transport av koldioxid till med fartyg till Norge alternativt med fartyg eller rörledning till Danmark. I fallet med fartyg påminner denna lösning om alternativ 1 ovan. Även hamn i Helsingborgsområdet har lyfts som ett tänkbart alternativ, men det behöver utredas vidare. Om koldioxiden kan transporteras med rörledning från Malmö ända till lagringsplats i Själland finns potentiellt kostnader att spara.
3. Ett antal fartyg från Ostkusten där samverkan främst avser att kapa kostnader för fartygstransport genom att optimera antal fartyg. Denna lösning skulle kunna underlättas av en tredjepart som samordnar.

10 Miljötilståndsförfrågor kopplat till infrastrukturkedjan för bio-CCS

Inom ramen för arbetspaket 3 fick IVL Svenska Miljöinstitutet i uppdrag att identifiera och sammanställa kunskapsluckor och osäkerheter kring miljörettsliga tillstånd och tillståndprocesser i bio-CCS-kedjan.

Uppdraget var avgränsat så tillvida att det endast omfattade miljörettsliga tillstånd och tillståndprocesser för anläggningar för avskiljning, mellanlager inför vidare transport samt transportlösningar för koldioxid som är insamlad för geologisk lagring i Sverige. Rapporten och dess slutsatser återfinns i sin helhet som Bilaga B till föreliggande rapport, där finns också en översikt över den miljölagstiftning som berör olika delar av kedjan. I detta avsnitt ges en översikt av uppdragets slutsatser.

Som en del av uppdraget har intervjuer med några industriaktörer genomförts med syfte att identifiera kunskapsluckor och peka på de frågor där de största osäkerheterna bedöms föreligga. Översiktligt handlar dessa främst om att det handlar om en, inom svensk miljölagstiftning, ännu ej tillståndsprövad teknik vilket skapar osäkerheter i hur myndigheter och domstolar kommer att hantera ärenden, vilka krav som ställs, omfattningen på tillståndsansökan samt hur villkor ska formuleras.

Några av de frågeställningar som har identifierats i intervjuerna som områden där aktörerna ser vissa utmaningar och oklarheter:

- Kan man ansöka om ändringstillstånd eller krävs omprövning av hela verksamheten?
- Hur hanterar man tillstånd som delas av flera aktörer?
- Vad gäller kring tillstånd för testanläggningar?
- Hur ska villkor formuleras, och vad gäller vid driftstörningar?

En avskiljningsanläggning för koldioxid, oavsett om det handlar om fossil eller biogen koldioxid, är i sig tillståndspliktig enligt miljöprövningsförordningen.

Vad gäller tillståndsprövningar anger flera aktörer som har intervjuats inom ramen för projektet risken för långa handläggningstider och utdragna tillståndprocesser som en mycket kritisk fråga. Den största utmaningen handlar om det faktum att det rör sig om en ny process/teknik som inte tidigare har prövats hos länsstyrelser och i mark- och miljödomstol. Det blir därför svårt att bedöma ramarna för tillståndsansökan samt att veta hur domstolen kommer döma fallen. Det finns inte heller någon upparbetad handläggning kring dessa frågor hos myndigheter som kan ha synpunkter i processen, vilket kan innebära att tillståndsprövningen tar längre tid. Prövning av ny teknik innebär att det saknas erfarenhet från tidigare prövningar vad gäller miljökonsekvenser och villkor. Merparten av dessa svårigheter minskar när ett par tillståndsprövningar genomförs.

Den pågående Miljöprövningsutredningen¹ tittar på frågor om hur tillståndsprövningen kan bli enklare och snabbare i syfte att underlätta för en grön omställning. Vid workshop 5 redogjorde huvudsekreterare Erika Ekman närmare

om utredningens arbete och hon betonade då att de tittar på ändringar som får generell effekt för grön omställning, inte tekniskspecifik, och att nivån på miljöskyddet kommer att kvarstå.

Generellt anses det negativt om en avskiljningsanläggning skulle bli föremål för omprövning av hela verksamheten snarare än att man kan gå in med en ansökan om ändringstillstånd. Vad som avgör huruvida det räcker med ändringstillstånd eller inte är *graden* av förändring av verksamheten/anläggningen som en bio-CCS-anläggning anses medföra. En avskiljningsanläggning för koldioxid kompletterar en förbränningsanläggning och ändrar, till viss del och i olika utsträckning, förutsättningarna i förbränningsverksamheten. En avgörande del i detta handlar om hur tillståndet för den befintliga anläggningen är utformat och vilka utsläppsvillkor som finns angivna. Om avskiljningen skulle medföra att förbränningsanläggningen i någon del inte längre kan hålla de villkor som finns i tillståndet krävs antingen en ansökan om att ändra dessa villkor eller en omprövning av hela verksamheten. Om avskiljningen däremot bedöms ha en begränsad påverkan kan det räcka med ett kompletterande tillstånd för ändringen av verksamheten.

En annan viktig fråga är hur man inom en infrastrukturkedja hanterar tillståndsfrågorna, dvs. vem som äger tillstånden. Exempelvis inom CinfraCap-projektet avser de gemensamt förhandlande parterna att utveckla en verksamhet som del av en affärskedja, där vardera parter ansvarar för att söka tillstånd för vardera delar av projektet som de är ansvariga för. Detta är inget som är nytt för just bio-CCS. Även om anläggningen är en del av en affärskedja så ansvarar den som har en tillståndspliktig anläggning på sin mark för att tillstånd söks. Tillsyns- och prövningsmyndigheter/ domstolar kan hantera tillståndsprocesser där anläggningar är starkt beroende av andra anläggningar. I områden med industriell symbios, som exempelvis det i Stenungssund, har var och en av företagen sitt tillstånd trots att dessa ibland behöver ändras med tajt tidsplan för att få kedjan att fungera.

11 Sammanfattande slutsatser

Analyserna inom AP3 har syftat till att visa hur infrastrukturkedjan för att transportera och lagra koldioxid kan byggas upp och realiseras samt hur samverkan kring sådan infrastruktur kan komma att se ut baserat på de kostnadsanalyser som har genomförts inom arbetspaketet. I detta avslutande kapitel sammanfattas mycket övergripande de viktigaste slutsatserna från analyserna.

Det finns potentiellt stora volymer koldioxid i Sverige som behöver transporteras och lagras. Ett flertal anläggningar, både inom fjärrvärmesektorn och andra branscher, har planer på att avskilja och lagra koldioxid. Det gäller såväl koldioxid av biogent som fossilt ursprung. Det främsta incitamentet för samverkan kring infrastruktur för transport och lagring av koldioxid handlar om att identifiera samarbeten som innebär minskade kostnader för deltagande aktörer.

Många faktorer inverkar på om det är lönsamt att samverka eller inte, men generellt gäller att stora volymer sänker kostnaden, både vad gäller förvätskning och/eller kompression av koldioxiden samt transport till lagringsplats. Faktorer som spelar in i kostnadsbilden handlar om alltifrån avstånd från anläggning till hamn respektive slutlager, antal fasomvandlingar som behövs, antal drifttimmar och hur koldioxidflödena varierar över året till behovet av mellanlagring.

När det gäller transportalternativ så är fartyg det mest troliga alternativet för transport till slutlagringsplats. Rörledning kan vara ett alternativ vid stora volymer och relativt nära mellan avskiljning och lagringsplats. Lastbil är med största sannolikhet inget alternativ i Sverige, annat än för små volymer över korta avstånd, t ex inom städer. Tågtransport är ett alternativ om man saknar tillgång till hamn och ska ansluta till en hubb för utskeppning till slutlagringsplats. En stor kostnad utgörs av att lasta koldioxiden på vagnarna. Har man väl lastat vagnarna har transportavståndet ingen större betydelse för kostnaden. Kostnaden för fartygstransporter minskar betydligt vid större volym, t ex om flera anläggningar kan dela skepp. Främst handlar det om att *optimera* antalet fartygstransporter, och ibland kan det vara billigare för t.ex. tre aktörer att dela på två fartyg jämfört med ett (1) stort fartyg eller varsitt fartyg.

I projektet har vi analyserat hur olika anläggningars planer ser ut över tid. Det är större sannolikhet att samverkansfördelar realiseras om planerna matchar i tid. Utifrån analyserna ses främst tre möjliga hubbar/alternativ för samverkan i Sverige kopplat till infrastrukturen.

1. En hubb i Göteborg för gemensam fartygstransport av koldioxid till lagringsplats
2. En hubb i Malmö med gemensam transport av koldioxid till lagringsplats (rörledning till Själland eller fartyg till annan lagringsplats)
3. Ett antal fartyg från Ostkusten

De lagringsalternativ som förefaller mest rimliga för svensk del är lagring i akvifärer och eventuellt uttömda olje- och gasfält i vår närhet. Det finns ett flertal

pågående eller planerade lagringsprojekt i Nordsjön som skulle kunna vara aktuella för lagring av koldioxid från anläggningar i Sverige. Dialogen inom arbetspaketet visar dock att det finns ett stort intresse för och förhoppning om en framtida möjlighet till koldioxidlagring på svenskt territorium, framförallt för att säkra upp lagringskapacitet.

I gällande lagar och regelverk, både inom svenskt och internationellt lagrum, finns fortfarande utmaningar att ta hänsyn till och lösa för att verksamhetsutövare ska kunna tillämpa bio-CCS-tekniken och få infrastrukturkedjan på plats.

Analyserna inom AP3 visar att det återstår vissa legala barriärer för att realisera bio-CCS som en klimatåtgärd, både på internationell och på EU-nivå men också inom svensk lagstiftning. Bland deltagande aktörer har det främst uttryckts en oro kring risken för långa handläggningstider och utdragna tillståndprocesser.

En annan central och återkommande fråga i projektet har handlat om hur man ska hantera ansvaret för koldioxiden längs med infrastrukturkedjan och huruvida en tredjepartsaktör kan ta över delar av ansvaret. Här menar EU i dagsläget att ansvaret för eventuella koldioxidläckage längs med hela infrastrukturkedjan ligger på anläggningsägaren, fram till dess att koldioxiden lastats av vid slutlagringsplatsen.

12 Referenslista

ARC, 2021: <https://a-r-c.dk/c4/>

COWI, 2021. CINFRACAP – gemensam infrastruktur för transport av koldioxid – förstudierapport. Mars 2021.

EC, 2020. European Commission, Directorate General Brussels, 27 July 2020: "Subject: Legal issues regarding Carbon Capture and Storage". Ref.Ares (2020) 3943156 – 27/7-2020

EC, 2021. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757. Tillgängligt från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52021PC0551>

Fridahl M., Lundberg L, Nehler T., 2021. Stödsystem för bio-CCS i Sverige – Sammanställning av aktörspreferenser och gällande regelverk. Kommande Energiforsk rapport.

Gassnova, 2020. "Developing Longship – key lessons learned". Kan laddas ner från; <https://ccsnorway.com/>

Johnsson, F. & Kjärstad, J., 2019. Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige. Behov av forskning och demonstration. Chalmers tekniska högskolan, Institutionen för Rymd-, geo-, och miljövetenskap, avdelningen Energiteknik. Göteborg, 2019.

Møl Mortensen, G., Erlström, M., Nordström, S. & Nyberg, J., 2017. Geologisk lagring av koldioxid i Sverige. Lägesbeskrivning avseende förutsättningar, lagstiftning och forskning samt olje- och gasverksamhet i Östersjön. SGU, Sveriges geologiska undersökning, rapporter och meddelanden 142.

Nehler, T. & Fridahl, M., 2021. Sammanställning av kunskapsläget kring gällande regelverk för bio-CCS i Sverige. Linköpings universitet, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Energisystem respektive Institutionen för Tema, Tema Miljöförändring. September 2021.

NORDICCS, 2015. NORDICCS Final Report, [nordiccs_report_single.pdf](#) (sintef.no)

Norges Klima- og Miljødepartement, 2019. Brev från Norges Klima- og Miljødepartement till DG Klima, Europeiska Kommissionen 7. Juli 2019: "The Norwegian CCS Demonstration Project – Request for Legal Clarifications Related to the ETS Directive and the MR- Regulation"

Northern Lights, 2019. "Northern Lights Project Concept report", RE-PM673-00001. Final version dated May 21st, 2019. Kan laddas ner från; <https://ccsnorway.com/>

Nysæter, G., Skagestad, R., Eldrup, N. H., Knudsen, K., Larsen, A. & Mathisen, A., 2021. The CO2LOS II Project, a Toolbox for CO2 Ship Logistics. Proceedings of the 15th Greenhouse Gas Control

Regeringskansliet, 2020. Personlig kommunikation med Johanna Jansson, Regeringskansliet 22. december 2020.

Romson, Å. & Steen, L., 2021. Miljö tillstånd i kedjan för bio-CCS. PM inom arbetspaket 3. Slutlig version 2021-07-02.

Technologies Conference 15-18, March 2021.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3821439

13 Bilagor

Bilaga A: Enkät

Bilaga B: Romson, Å. & Steen, L., 2021. Miljötilstånd i kedjan för bio-CCS. PM inom arbetspaket 3. Slutlig version 2021-07-02.

Bilaga A: Enkät

INFRASTRUKTUR – FRÅGOR KRING TRANSPORT AV KOLDIOXID

1. Har ni tillgång till egen hamn i direkt anslutning till anläggningen?
 - a. Ja
 - b. Nej
2. Om ja på fråga 22, vilket ungefärligt hamndjup?
Svar:
 - Om ja, vilken ungefärlig längd har hamnen?
3. Om nej på fråga 22, vilken hamn/vilka hamnar kan vara aktuell för er att transportera koldioxiden till?
Svar:
4. Om nej på fråga 22, vilka transportmöjligheter är mest aktuella för er för transport av koldioxid från anläggning till hamn i Sverige (flera alternativ kan anges)?
 - c. Tåg
 - d. Lastbil
 - e. Rörledning
 - f. Övrigt
 Svar:
5. Det finns flera sätt att transportera koldioxid från hamn till lagringsplats; man kan ha egna fartyg, man kan dela fartyg med andra verksamheter, man kan chartra fartyg, man kan anta Northern Lights system. Vad är era tankar kring detta?
Fritextsvar:

INFRASTRUKTUR – LAGRING

6. Vilka länder analyserar ni kan vara aktuella för lagring i ert fall?
Svar:
7. Hur viktigt tycker ni att det är Sverige utreder förutsättningarna för lagring på svenskt territorium?
 - a. Mycket viktigt
 - b. Viktigt
 - c. Ej viktigt
 - d. Ingen åsikt
 - e. Kommentarer

INFRASTRUKTUR – GENERELLT

8. Vilka är de största utmaningarna ni ser kopplat till infrastrukturen (transport och lagring) för CCS?
Fritext:
9. Är det några särskilda frågor ni skulle önska att projektet lyfter kring infrastruktur (t.ex. vid workshopar)?
Fritext:

Bilaga B: Miljötilstånd i kedjan för bio-CCS



1(12)

Slutlig version 2021-07-02

Miljötilstånd i kedjan för bio-CCS

PM inom arbetspaket 3,

Av jur.dr. Åsa Romson och utredare Linnea Steen, IVL Svenska Miljöinstitutet

Innehåll

Miljötilstånd i kedjan för bio-CCS	1
Uppdraget, avgränsning och genomförande	2
Sammanfattning av slutsatser	2
Översiktligt om miljörettslig tillståndsplikt för anläggningar i kedjan för bio-CCS	3
Kort om geologisk lagring av koldioxid i Sverige	3
Tillstånd för avskiljning	4
Tillstånd för drift av mellanlager	4
Tillstånd för transport i rörledning	5
Tillstånd för testanläggningar	5
Frågor som industriaktörer särskilt lyft	6
Ändringstillstånd – omprövning	6
Svårigheter kring utformningen av villkor för både befintliga och tillkommande tillstånd	8
Behov av tydligare regelverk kring transportfordon	9
Svårigheten att ansöka om tillstånd för ny teknik och process som del av affärskedja	10
Bilaga 1. Intervjuer	11
Bilaga 2. Referenser	11
Rättsvetenskapliga texter av intresse:	12

IVL SVENSKA
MILJÖINSTITUTET AB

Org.nr: 556116-2446
VAT no: SE556116244601
Säte: Stockholm
www.ivl.se

Box 21060, SE-100 31 Stockholm
Valhallavägen 81, 114 27 Stockholm
Tel: +46 (0)10-788 65 00

Box 53021, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44, 411 33 Göteborg
Tel: +46 (0)10-788 65 00

Uppdraget, avgränsning och genomförande

Inom ramen för arbetspaket 3 i projektet *Färdplan för bio-CCS i fjärrvärmesektorn* gavs IVL Svenska Miljöinstitutet i uppdrag att utreda frågor kring tillståndsplikt och tillståndprocesser i bio-CCS-kedjan. Analyserna skulle täcka in de kunskapsluckor och osäkerheter på detta område som företagsaktörerna i projektet hade. Samtidigt tog en annan forskningsgrupp på sig att sammanställa de internationella regelverken och regelfrågor specifikt kring affärsupplägg för delarna i kedjan för bio-CCS inklusive slutlager under Nordsjön samt sjötransporter till dessa lager, varför detta inte täcks in i denna promemoria.

Promemorian behandlar miljörättsliga tillstånd och tillståndprocesser för anläggningar för avskiljning, mellanlager inför vidare transport samt transportlösningar för koldioxid från biogena källor som är insamlad för geologisk lagring i Sverige. Ett fåtal frågor tas upp som berör slutlager i Sverige. Promemorian täcker inte internationella överenskommelser, regler gällande lagen om vissa utsläpp av växthusgaser (Lag 2020:1173) och inte heller tillstånd enligt lagen (1966:314) om kontinentalsockeln. Fokus ligger på regler som specifikt träffar kedjan för bio-CCS, varav miljöregler kring lokaliseringen av en anläggning, som exempelvis Natura2000-tillstånd eller planrättsliga frågor, inte tas upp.

Uppdraget har genomförts genom skrivbordsanalyser av aktuella rapporter och dokument, samtal med experter och handläggare samt rättslig analys av svenska miljörättsliga regler. Semistrukturerade intervjuer har genomförts med fyra företagsföreträdare. Preliminära resultat presenterades och diskuterades vid en workshop inom projektet den 21 juni (workshop 5 i AP3) och synpunkter från diskussionen med dessa aktörer har tagits med.

Sammanfattning av slutsatser

Det miljörättsliga regelverket för tillstånd kring koldioxidavskiljning och transport, samt andra säkerhetskrav är desamma oberoende om det gäller koldioxid från fossila eller biogena källor. För avskiljning av koldioxid för lagring krävs särskilt tillstånd som söks hos länsstyrelsen. Mellanlager avsedda för mer än 10 ton kan ses som lagring av icke-farligt avfall och behöver enbart anmälas till kommunen. För rörledningar som är längre än 20 km krävs koncession som godkänns av regeringen. Regler för farligt gods gäller för transporter på väg, järnväg eller sjöfart. För testanläggningar i de olika stegen krävs ofta enbart kommunikation med tillsynsmyndigheten då de kan rymmas inom befintliga tillstånd. En forskningsanläggning kring slutlagring av koldioxid kräver dock tillstånd från länsstyrelsen.

Intervjuer med några industriaktörer visade att det fanns flest frågetecken kring följande frågor:

- Behövs det för koldioxidavskiljning en omprövning av tillståndet för den befintliga verksamheten?
- Hur kan villkor formuleras för avskiljning, hantering och mellanlagring?
- Vilka svårigheter ligger i att ansöka om tillstånd för ny teknik?
- Vilka regler gäller för transportfordon?
- Vilka svårigheter ligger i att ansöka om tillstånd för verksamhet som utgör en del av en affärskedja?

På workshop 5 diskuterades dessa frågor och i promemorian görs en översiktlig bedömning kring hur frågorna kan hanteras.

Översiktligt om miljörettslig tillståndsplikt för anläggningar i kedjan för bio-CCS

Det finns behov hos de deltagande industriaktörerna att få en bättre helhetsbild av tillståndsfrågorna kring nya anläggningar inklusive testanläggningar. Därför görs här en översiktlig redogörelse över rättsreglerna på området (se dock om avgränsningar ovan). Tillståndsreglerna gäller för både koldioxid från förbränning av fossila bränslen och biogen ("grön") koldioxid från förbränning av biomassa.

Kort om geologisk lagring av koldioxid i Sverige

Med geologisk lagring menas 'injektion åtföljd av lagring av CO₂-strömmar i underjordiska geologiska formationer' vilket är den definition som EU-direktivet 2009/31/EG om geologisk lagring av koldioxid använder (art.3 p.1). Geologisk formation definieras i Sveriges Förordning (2014:21) om geologisk lagring som 'en litostratigrafisk enhet inom vilken distinkta lager av bergarter kan hittas och kartläggas'. Detta bör inkludera de former av underjordisk koldioxidlagring som idag utvecklas. Det går inte att söka tillstånd för permanent lagring ovan markytan, till exempel 'naturlig' lagring i form av karbonisering i betong.

Särskilt tillstånd krävs för geologisk lagring av koldioxid, samt för att borra i syfte att bedöma om en plats är lämplig för geologisk lagring. Större lagringsanläggningar, för mer än 100 000 ton koldioxid, kan endast ges tillstånd om de lokaliseras under havsbotten¹. För sådana anläggningar söks tillstånd från mark- och miljödomstolen (A-

¹ Förordningen (2014:21) om geologisk lagring, § 10, medger endast lagring 'i Sveriges ekonomiska zon och de områden som inte ingår i fastigheter i svenskt territorialhav från en nautisk mil utanför baslinjen'. Förordningen reglerar inte lagringsanläggningar för mindre än 100 000 ton koldioxid.

verksamhet)², och frågan om tillåtlighet måste avgöras av regeringen. Mindre lagringsanläggningar, för mindre än 100 000 ton koldioxid, kan ges tillstånd som 'B-verksamhet' vilket innebär att ansökan görs till länsstyrelsen. Frågan om tillåtlighet måste ändå avgöras av regeringen såvida inte anläggningens syfte är forskning, enligt miljöbalken kap 17 § 1 p 3.

I övrigt när det kommer till reglerna för större geologiska lagringsanläggningar, eller om undersökningar samt om undantag från förbudet att dumpa avfall till sjöss och internationella överenskommelser, hänvisas till förordningen (2014:21) om geologisk lagring. Se även genomgång av rättsläget i SOU 2020:4 Vägen till en klimatpositiv framtid, samt SGU:s rapport 142 Geologisk lagring av koldioxid i Sverige 2017.

Tillstånd för avskiljning

Särskilt tillstånd krävs för att avskilja koldioxid för geologisk lagring. Tillstånd söks hos länsstyrelsen och räknas som 'B-verksamhet'. Tillstånd krävs oavsett mängd och både då avskiljning sker från så kallade industriutsläppsverksamheter och från andra verksamheter (Miljöprövningsförordningen kap 29 §§ 60 - 64, reglerna baseras på EU-direktiv 2009/31/EC).

Avskiljning kräver mycket energi och kan påverka sammansättningen av utsläpp från den anläggning varifrån koldioxiden avskiljs vilket därför är exempel på frågor som behöver belysas i tillståndsansökan.

Avskiljning av koldioxid för andra syften än geologisk lagring kräver inte särskilt tillstånd. Det kan gälla vid tester av avskiljningsanläggningar där syftet ju inte är lagring utan att pröva hur tekniken ska användas. Det särskilda tillståndskravet gäller inte heller för avskiljning av koldioxid för försäljning som biprodukt, som exempelvis ska användas som kolsyra till bryggerier.

Tillstånd för drift av mellanlager

Att driva ett mellanlager för insamlad koldioxid kan betraktas som att lagra icke-farligt avfall³. Detta kräver då tillstånd för 'B-verksamhet' om mängden är större än

² A-anläggningar är t.ex. flygplatser, avfallsdeponier och oljeraffinaderier, som tillståndsprövas av mark- och miljödomstolen. B-anläggningar är t.ex. avloppsreningsverk, energianläggningar och täkter, som tillståndsprövas av Länsstyrelsens miljöprövningsdelegation. C-anläggningar är t.ex. bensinstationer och sjukhus, som anmäls till kommunen.

³ Prop. 2012/12:125 klargjorde att koldioxid avskild för geologisk lagring räknas som avfall. Detta trots att sådan koldioxidström är undantagen från avfallsförordningens tillämpning (kap 1 § 15 p 9) och att uppfattningen funnits att det inte var EU-lagstiftarens mening att koldioxiden skulle ses som avfall (Langlet, D. (2009) Europeisk reglering av koldioxidlagring: analys utifrån miljörättsliga aspekter, Nordisk miljörättslig tidskrift). I projektet CinfraCap, gjordes antagandet att drift av mellanlagring för

10 000 ton. Är mängden mindre än detta gäller anmälningsplikt för 'C-verksamhet' om mängden överstiger 10 ton (Miljöprövningsförordningen 29 kap 48–49 §§).

Lagring och förvätskning kräver kylning. När detta görs med hjälp av ytvatten från närliggande hav/sjö/vattendrag räkans uttaget av vatten som vattenverksamhet vilket kräver tillstånd enligt miljöbalkens kapitel 11. När ammoniak används som köldmedium och därmed hanteras i större mängder tillkommer krav enligt Sevesolagstiftningen (Lag (1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor, se även förordning (2015:236) och föreskrifterna MSBFS 2015:8. Koldioxid är inte namngivet som ett farligt ämne i Sevesodirektivet (2012/18/EU) men kan, på grund av sin hälsofara i starka koncentrationer, också bli aktuell för särskilda hanteringsregler beroende på mängden som hanteras vid en anläggning. De volymer koldioxid som idag hanteras vid framställning av kolsyra för livsmedelssektorn tas inte upp som Sevesoämne⁴.

Tillstånd för transport i rörledning

För att anlägga och använda en rörledning för transport av koldioxid som är längre än 20 km och går utanför verksamhetens område krävs en koncession som söks hos Energimarknadsinspektionen, men beslut tas av regeringen. Den som har koncession för en rörledning för transport av koldioxid är skyldig att på skäligena villkor transportera koldioxid åt andra. Koncessionen inkluderar tillbehör och anordningar som behövs för att driva rörledningen. Koncessioner gäller max 40 år. Rörledning för transport av koldioxid för lagring har rätt att dras på annans fastighet (Lagen (1978:160) om vissa rörledningar).

Tillstånd för testanläggningar

Flera testanläggningar för avskiljning har använts i Sverige (Preem i Lysekil och Stockholm Exergi, Värtan) och detta utan särskilt tillstånd för avskiljning av koldioxid. I fallet Stockholm Exergi, Värtan, meddelades tillsynsmyndigheten som i deras fall var Miljöförvaltningen i Stockholm, gällande den anläggning där avskiljningen skulle testas. Då syftet med avskiljningen av koldioxid från testanläggningen inte var lagring ansåg tillsynsmyndigheten att det inte fanns någon anledning för särskilt tillstånd, och testverksamheten kunde därmed bedrivas inom ramen för kraftvärmeverkets ordinarie tillstånd⁵.

dena koldioxid kan ses som hantering av icke-farligt avfall, se Förstudierapport: Gemensam infrastruktur för transport av koldioxid, mars 2021

⁴ Se information från brandförsvaret i Östra Götaland <https://rtog.se/hem-fritid/krisberedskap/hem-fritid-krisberedskap-seveso-och-farlaga-verksamheter/norrkopings/lantmannen-agroetanol-ab/>

⁵ Telefonsamtal med ansvarig handläggare på Miljöförvaltningen Stockholms stad

Testanläggningar för mellanlager där mängden koldioxid som lagras inte överstiger 10 000 ton behöver endast anmälan till lokala miljökontoret, se ovan.

Forskningsläggningar för slutlager, för mindre än 100 000 ton koldioxid, behöver ansöka om tillstånd från länsstyrelsen (B-verksamhet) men behöver inte beslut om tillåtlighet från regeringen. Frågan om hantering av gas och olja som påträffas vid forskning kring geologisk koldioxidlagring har nyligen tagits upp i Näringsdepartementets promemoria Ds 2021:20 Förbud mot prospektering och ny exploatering av kol, olja och fossilgas. Januariöverenskommelsen aviserade ett förbud mot gas- och oljeutvinning i Sverige och promemorian föreslår en ny paragraf i miljöbalken, kap 9 § 6 (k), som förbjuder tillstånd till utvinning av råolja, skifferolja eller naturgas/fossilgas. I paragrafens sista stycke möjliggörs dock 'tillstånd till sådan utvinning på land om det är nödvändigt för geologisk lagring av mindre än 100 000 ton koldioxid för forskningsändamål. Det ges dock inte något undantag från förbudet för utvinning till havs, och inte heller för mindre lagringsanläggning på land utan forskningssyfte.

Promemorian specificerar i vilka fall tillstånd för utvinning av olja eller gas kan ske:

'Det föreslagna undantaget innebär att det ska vara möjligt att utvinna råolja och naturgas på land i samband med lagring av mindre än 100 000 ton koldioxid som görs för forskning, utveckling eller provning av nya produkter eller processer. Utvinning i dessa fall ska dock endast få ske av tekniska skäl och i den utsträckning som är nödvändig för att koldioxidlagringen ska kunna ske.' (Ds 2021:20 s 48)

Frågor som industriaktörer särskilt lyft

Ändringstillstånd – omprövning

Aktörerna: Samtliga intervjuade industriaktörer uppger att det anses negativt om det kommer krävas ett omprövningstillstånd för hela anläggningen vid tillståndsansökan för en bio-CCS-anläggning, eftersom det då påverkar övrig verksamhet. Ett ändringstillstånd är därför att föredra eftersom det inte krävs lika mycket resurser i form av tid och pengar.⁶

Under workshop 5 lyftes specifikt tidsaspekten bland aktörer där det i dagsläget känns osäkert gällande hur långa handläggningstider för tillståndsansökan kan komma att bli.

Bedömning: Grundläggande är att det är verksamhetsutövaren av en miljöfarlig verksamhet som behöver ha tillstånd för verksamheten om den är tillståndspliktig.

⁶ Intervjuer med industriaktörer

Verksamhetsutövare är den som driver anläggningen och fattar ekonomiska och andra beslut om verksamheten. En avskiljningsanläggning kompletterar en förbränningsanläggning och ändrar till viss del förutsättningarna i förbränningsverksamheten. Den som driver förbränningsanläggningen och installerar avskiljningen måste analysera hur detta påverkar den befintliga verksamheten och de ramar som finns i tillståndet för denna. Den ändring som avskiljningen innebär är i sig tillståndspliktig eftersom avskiljning av koldioxid för lagring kräver tillstånd enligt miljöprövningsförordningen, se ovan. Verksamhetsutövaren kan ansöka om tillstånd enbart för den kompletterande avskiljningsanläggningen, eller så behöver verksamhetsutövaren få nya eller ändrade villkor för den befintliga anläggningen. Det beror på hur avskiljningen av koldioxid påverkar förbränningsanläggningen, och hur tillståndet för förbränningsanläggningen är utformat samt vilka ramar som det sätter upp för verksamhetens utsläpp.

Om avskiljningen gör att förbränningsanläggningen i någon del inte längre kan hålla de villkor som finns i tillståndet behövs antingen en ansökan om att ändra dessa villkor eller en omprövning av hela verksamheten. Om avskiljningen inte har sådan påverkan kan det räcka med ett kompletterande tillstånd för avskiljningsanläggningen. Frågan om hur ansökan ska läggas upp bör tas upp tidigt i processen med länsstyrelsen, samt med kommunens miljökontor om de är tillsynsmyndighet. Begränsas ansökan till en ändring av villkoren riskeras jobbet göras om för det fall att prövningsmyndigheter senare slår fast att det krävs en omprövning av hela verksamheten för att hantera miljöpåverkan som en helhet. På workshop 5 beskrev miljörettsliga advokaten Anna Bryngelsson detta mera och förklarade 'salamiprincipen' som säger att en verksamhet inte ska delas upp i tunna skivor utan ses som en helhet vars samlade miljöpåverkan är det som ska bedömas och regleras.

Liknande ordning gäller för mellanlager när detta lokaliseras till en befintlig industritomt med tillståndsgiven verksamhet, till exempel ihop med en förbränningsanläggning eller i en energihamn. Beroende på vilka ramar som finns i tillståndet för den befintliga verksamheten, och hur denna verksamhet eventuellt påverkas eller ändras i och med mellanlagret så krävs även här antingen ändrade villkor eller en omprövning. Om mellanlagret i sig inte är tillståndspliktigt måste ändå verksamhetsutövare med befintliga tillstånd analysera och kommunicera miljöeffekterna av de ändringar som lagret innebär och säkerställa att detta rymms inom befintliga tillstånd, alternativt begära ändring eller omprövning. Om det är en annan verksamhetsutövare för mellanlagret än för den omgivande industriverksamheten prövas mellanlagret separat.

Angående handläggningstider finns aktuell statistik för hantering av miljöärenden vid domstol och länsstyrelse, som är redovisat av Naturvårdsverket⁷. Den genomsnittliga handläggningstiden från ansökan till beslut är ett år, men variationen är stor.

Under våren kom Klimatråtsutredningen med ett förslag om att klimatåtgärder oftare ska kunna genomföras med ändringstillstånd (SOU 2021:21):

‘Om en verksamhetsutövare ansöker om ändringstillstånd i syfte att undvika en omprövning för att minska en miljöfarlig verksamhets utsläpp av växthusgaser, ska endast de villkor som har betydelse för sådana utsläpp omprövas om verksamheten i övrigt kan bedrivas med tidigare meddelade villkor. Vid en omprövning av hela verksamhetens tillstånd får dock ändringstillståndet omprövas enligt vad som gäller för övriga ändringstillstånd.’

Den pågående Miljöprövningsutredningen tittar också på frågor om hur tillståndsprocessen kan bli enklare och snabbare i syfte att underlätta för en grön omställning⁸. Vid workshop 5 redogjorde huvudsekreterare Erika Ekman närmare om utredningens arbete och betonade då att de tittar på ändringar som får generell effekt för grön omställning, inte tekniskspecifik, och att nivån på miljöskyddet kommer kvarstå.

SVårigheter kring utformningen av villkor för både befintliga och tillkommande tillstånd
Aktörerna: Stockholm Exergi ser en utmaning i att villkoren för deras befintliga tillstånd är satta per halter av förorening. Genom en bio-CCS-process minskar föroreningsgraden, men halterna av förorening ökar istället. De vet därför inte hur det kommer hanteras i tillståndet, i form av prövning och formulering av villkor, eller hur det kommer följas upp genom kontrollprogram. Vid intervjun med CinfraCap framkom information om att deras anläggning kommer innebära flera strömmar med infångad koldioxid. Om ett driftproblem för mellanlagringen uppstår vid något tillfälle finns det frågetecken kring vad som gäller då, och om det i så fall finns möjligheter att släppa ut den infångade koldioxiden under en kortare underhållsperiod. Växjö Energi uttrycker att de behöver mer information om tänkbara tekniska lösningar och dess standarder för Bio-CCS. De anser sig därför behöva utforma sin tillståndsansökan så pass brett att den kan falla in under flera tekniska lösningar när det väl blir dags att sätta igång anläggningen.

⁷ <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Redovisade-2021/Statistik-for-miljotillstandsprovningen/>
⁸ Miljöprövningsutredningen (M 2020:06), dir. 2020:86

Under workshop 5 lyftes dessutom fler frågetecken kring utformningen av tillstånd, där bland annat driftproblem togs upp igen samt ifall två villkor kan behövas i tillståndet, där ett berör hur anläggningen drivs *utan* avskiljning och ett annat *med* avskiljning. Förslag från aktörerna var här att skapa någon form av kompetensutbyte bland verksamheter som avser att bedriva avskiljning för bio-CCS där dessa kan dela kunskap och erfarenheter kring vad som bör ingå i tillståndsansökan.

Bedömning: Utformningen på den befintliga verksamhetens tillstånd avgör hur ansökan om tillstånd för avskiljnings-, och/eller mellanlagerverksamhet görs, se ovan. Tillsynsmyndigheten och länsstyrelsen ska ge vägledning i detta vid förberedande samråd. När det gäller nya verksamhetstyper där utsläppshalter är osäkra utformas ofta tillstånden så att de osäkra halterna utreds vidare under driftfasen och får redovisas till myndigheten vid senare tidpunkt, detta kallas undersökningsvillkor.

Tillståndsvillkor uttrycker ofta begränsningsvärden för utsläpp vid planerad drift men kan även innehålla värden som gäller då avvikande situationer uppstår. Till detta kan knytas kontrollprogram som fastställer hur verksamhetens utsläpp och riskhantering följs upp. Detta har till syfte att främst ge en säker miljö lokalt. Avvikande situationer som innebär läckage av koldioxid som enbart får som miljöeffekt att spä på klimatförändringarna bör gå att ta höjd för i miljötillståndet. Inverkan i form av att mindre koldioxid lagras är snarare en fråga om redovisning för eventuella incitamentsystem för utsläpparen och inte en direkt fråga för miljötillståndet.

Tillståndsansökan kan beskriva hur avvikelser hanteras och inkludera variationer inom ramen för tillståndet. Ju mer variationer och händelser i verksamheten som kan förutses och beskrivas i tillståndsansökan desto bättre. Förutom ett kompetensutbyte inom branschen skulle även en central vägledning från Naturvårdsverket kunna undanröja svårigheter med dessa nya typer av tillstånd.

Behov av tydligare regelverk kring transportfordon

Aktörerna: Eftersom Växjö Energi ligger mitt i landet blir det extra viktigt för dem att veta vad som gäller för transport av koldioxid via tåg. Exempelvis behöver Växjö Energi slot-tider för när de kan köra koldioxiden eftersom den körs i en lägre hastighet och de behöver tillstånd för stickspar och växlar in till anläggningen. Stockholm Exergi anser också att det behövs tydliga regelverk för vad som gäller för transport av koldioxid med båt. De ger exempel på att (fossil)koldioxid som lastas på båt idag inte anses som avskild enligt EU-ETS.

Bedömning: Flytande koldioxid räknas som farligt gods vilket betyder att all transport av flytande koldioxid i bulk, oavsett om det sker med lastbil, tåg eller båt, måste följa de EU-gemensamma ADR/RID regelverket⁹, liksom kraven uppställda i lagen (2006:263) om transport av farlig gods.¹⁰ Det har inom delprojektet inte funnits möjlighet att närmare gå in och analysera behovet av regeländringar för att underlätta transport av koldioxid på tåg eller båt. Huruvida EU-ETS möjliggör incitament för CCS ligger utanför det fokus som här hållits till bio-CCS.

Svårigheten att ansöka om tillstånd för ny teknik och process som del av affärskedja
Aktörerna: Den största utmaningen bland samtliga intervjuade aktörer är det faktum att det rör sig om en ny process som inte har prövats hos länsstyrelse och i mark- och miljödomstol tidigare. Det blir därför svårt att bedöma ramarna för tillståndsansökan samt att veta hur domstolen kommer döma fallen. Det finns inte heller någon utarbetad handläggning kring dessa frågor hos myndigheter som kan ha synpunkter i processen, vilket kan innebära att tillståndprocessen tar lång tid. Stockholm Exergj planerar att lämna in sin tillståndsansökan under hösten 2021 och ser därmed ut att bli den första avskiljnings- och mellanlageranläggningen för bio-CCS som tillståndsprövas. Andra aktörer vittnar om att de tittar på den prövningen för att se hur processen kommer hanteras.¹¹ Vattenfall säger exempelvis att det finns en risk med att en avskiljningsanläggning blir mer lik en kemisk industri och kan komma att klassas därefter.

Bedömning: Det finns såklart flera svårigheter med att söka tillstånd för en verksamhetstyp som inte någon tidigare tillståndsprövning genomförts för. Tre typiska svårigheter kan urskiljas 1) avskiljnings- och mellanlagringstekniker behöver trimmas in, och teknisk utveckling pågår 2) myndigheterna är inte vana att hantera frågorna och är inte heller kunniga kring tekniken 3) aktörer som breddar sin verksamhet till att omfatta en del av bio-CCS-kedjan kan behöva hantera nya typer av tillstånd och regler. Merparten av dessa svårigheter minskar när ett par tillståndsprövningar genomförts. Skulle en vägledning finnas från en nationell myndighet redan när de första processerna påbörjas skulle det troligen underlätta för de aktörer som 'går först'.

Inom framförallt CinfraCap-projektet avser de gemensamt förhandlande parterna att utveckla en verksamhet som del av en affärskedja, där vardera parter ansvarar

⁹ Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och föremål som har sådana farliga egenskaper att de kan orsaka skador på människor, miljö eller egendom, om de inte hanteras på rätt sätt under en transport. Föreskrifterna som reglerar detta heter ADR-S och RID-S.

¹⁰ Förstudie CinfraCap <https://www.goteborgshamn.se/globalassets/cinfracap-forstudie-23-april-2021.pdf>

¹¹ Intervjuer med industriaktörer

för att söka tillstånd för vardera delar av projektet som de är ansvariga för. Detta är inget som är nytt för just bio-CCS. Även om anläggningen är en del av en affärskedja så ansvarar den som har en tillståndspliktig anläggning på sin mark för att tillstånd söks. Tillsyns- och prövningsmyndigheter/domstolar kan hantera tillståndprocesser där anläggningar är starkt beroende av andra anläggningar. I områden med industriell symbios, som exempelvis det i Stenungssund, har var och en av företagen sitt tillstånd trots att dessa ibland behöver ändras med takt tidsplan för att få kedjan att fungera¹².

Bilaga 1. Intervjuer

Aktör	Namn & position	Intervju via	Datum
CinfraCap/ Göteborgs hamn	Lena Lilienberg, chef för Energiområdet	Digitalt (Teams)	07.05.21
Stockholm Exergi	Johan Alsparr, affärsprojektledare	Digitalt (Teams)	07.05.21
Vattenfall	Nader Padban, huvudansvarig CCS	E-mail	01.06.21
Växjö Energi	Julia Ahlrot, chef för strategi och omvärldsrelationer	Digitalt (Teams)	25.05.21

Bilaga 2. Referenser

Regeringens proposition 2011/12:125 Geologisk lagring av koldioxid, 15 mars 2012.

CinfraCap – Gemensam infrastruktur för transport av koldioxid. Förstudierapport, mars 2021.

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

SGU, Geologisk lagring av koldioxid i Sverige, rapport 142, 2017.

¹² Mejlväxning med Marie-Louise Johansson, expert på Borealis, 2021-06-01

Rättsvetenskapliga texter av intresse:

Langlet, D., och Rydberg, N. (2015) Elforsk, CCS in the Baltic Sea region – Bastor 2 Work Package 4 – Legal & Fiscal aspects, report 14:48 april 2015 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:766910/FULLTEXT01.pdf>

Langlet, David (2009) Europeisk reglering av koldioxidlagring: analys utifrån miljörettsliga aspekter, Nordisk miljörettslig tidskrift. <https://nordiskmiljoratt.se/onebmedia/Langlet%20NMT%202009.pdf>

Roggenkamp, Martha (2018) Transportation of Carbon Dioxide in the European Union: Some Legal Issues, i Havercroft, Stewart & Macrory (red.), Carbon Capture and Storage: Emerging Legal and Regulatory Issues, andra upplagan, Hart Publishing Limited, Oxford.

SAMVERKAN KRING INFRASTRUKTUR FÖR TRANSPORT OCH LAGRING AV KOLDIOXID

Effektiv infrastruktur för transport och lagring av koldioxid kommer att vara en förutsättning för att realisera bio-CCS som klimatåtgärd. Eftersom det handlar om betydande investeringar för enskilda företag är samverkan kring infrastrukturen sannolikt avgörande för en utbyggnad av infrastrukturen. Det handlar både om samverkan mellan fjärrvärmeföretagen, och mellan fjärrvärmeföretagen och andra industrier och aktörer.

Ett flertal biobränsleeldade kraftvärmeverk ligger längs den svenska kusten, vilket underlättar utbyggnaden av infrastruktur och skapar förutsättningar för samlokalisering. Goda logistiska förutsättningar gör investeringar i infrastruktur mer attraktiva och ökar effektiviteten för bio-CCS som klimatåtgärd, inte minst vad gäller minskade kostnader men även utsläpp från transporten av koldioxid till slutlagring.

Forskarna har här identifierat tre huvudsakliga regionala samverkansmöjligheter kring infrastrukturen – en hubb i Göteborg, en hubb i Malmö-Köpenhamn och dessutom samverkan längs Sveriges östkust i form av gemensamma fartygstransporter för ett antal anläggningar. De lagringsalternativ som på kort sikt är mest rimliga är lagring i akvifärer och eventuellt i tömda olje- och gasfält i Nordsjön. Men det finns också en stor förhoppning om en framtida möjlighet till koldioxidlagring på svenskt territorium, framför allt för att säkra upp lagringskapaciteten.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se