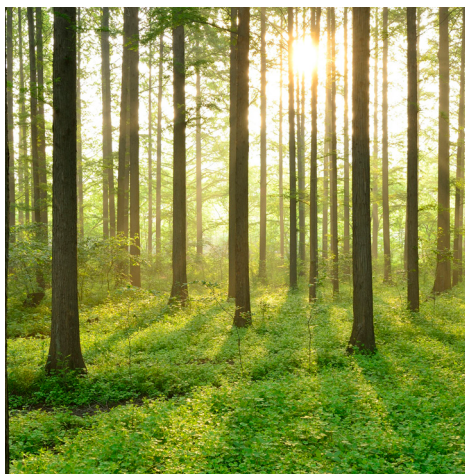


# HÅLLBARHETSBEDÖMNING AV BIO-CCS I FJÄRRVÄRMESEKTORN

RAPPORT 2022:840





# Hållbarhetsbedömning av bio-CCS i fjärrvärmesektorn

KENNETH MÖLLERSTEN OCH MATHIAS GUSTAVSSON

ISBN 978-91-7673-840-5 | © Energiforsk januari 2022

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

**Negativa utsläpp kommer sannolikt att krävas för att 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

**Avskiljning, transport och lagring av koldioxid ("CCS" från den engelska förkortningen av "carbon capture and storage") i anslutning till kraftvärmeanläggningar ger möjlighet att reducera klimatpåverkan från el- och värmeproduktion. Med antagande om att biobränsle ger ett netto noll-bidrag till koldioxidbalansen i atmosfären kan CCS tillämpat på biogen koldioxid (Bio-CCS) och ge negativa utsläpp. Tekniken kan därmed skapa förutsättningar för nettonoll-utsläpp i samhället som helhet genom att kompensera för växthusgasutsläpp som är svåra att åtgärda. En hållbarhetsanalys av Bio-CCS på en anläggning har genomförts baserat på antagandet att bio-CCS utgör en central komponent i en svensk strategi för att klara det svenska klimatpolitiska målet nettonollutsläpp 2045 och negativa utsläpp därefter.**

Hållbarhetsbedömningen avser hela värdekedjan från avskiljning och transport till lagring av koldioxid för en antagen anläggning med respektive utan koldioxidinfångning. Utgångspunkten bygger på energi- och växthusgasbalanser som har genomförts inom ramen för studien. Applikationer där biogen koldioxid avskiljs har varierats och olika sammansatta transportlösningar har studerats. Systemens hållbarhetspåverkan har analyserats med utgångspunkt i FN:s 17 hållbarhetsmål (SDG).

Analysen, under givna antaganden, visar att avskiljning, transport och lagring av koldioxid i anslutning till biobränsle- och avfallseldade kraftvärmeanläggningar kan bidra till tydligt negativa utsläpp av växthusgaser sammantaget för hela värdekedjan och därmed ge ett signifikant bidrag till att bekämpa klimatförändringarna (SDG 13). Samtidigt som koldioxid från förbränningen av bränsle fångas in och lagras, uppstår annan påverkan inom en rad hållbarhetsaspekter. Dessa är både positiv påverkan som jobbskapande och anpassning av samhället i en riktning mot lägre klimatpåverkan, men även negativ påverkan på ekosystem samt även emissioner vid transporter och annan verksamhet.

En konventionell kraftvärmeanläggning idag producerar *el och värme som energitjänster*. I en kraftvärmeanläggning med CCS kommer även *energitjänsten koldioxidinfångning* läggas till el- och värmestjänsterna. Tillägget med koldioxidinfångning som energitjänst kommer reducera mängderna el och i många fall värme som energitjänster ut från kraftvärmeanläggningen med CCS jämfört med samma anläggning utan CCS. Detta leder till en negativ påverkan på SDG 7, Hållbar energi för alla samtidigt som energitjänsten koldioxidinfångning blir en ny produkt som ingår i arbetet för att nå samhällsmål om minskade klimatutsläpp.

Resultaten i denna studie visar på att hållbarhetsbedömningen för Bio-CCS-lösningen till stor del bygger på underliggande antaganden kring vad som krävs för att uppfylla klimatmål. I resultaten här fås direkt positiva resultat i avseende på hållbarhetsmål kring samhällsbygge och industriutveckling. Detta beror på att bakomliggande antagande om nödvändigheten att etablera permanenta negativa

utsläpp, och Bio-CCS är den enda åtgärden idag i Sverige som snabbt kan få detta till stånd. Samtidigt visar detta hur Bio-CCS inte är en aktivitet som är enbart en enskild sektors angelägenhet utan inbegriper ett samhällsbygge med en lång rad aktörer och intressen. Till detta kan även läggas att detta inte är en lösning som hanteras inom Sveriges gränser – utan den infångade koldioxiden exporteras för att hanteras i annat land. Sverige har ingen egen kapacitet att ta hand om slutförvaringen av koldioxiden i dagsläget. Som en konsekvens kommer det behövas ett förtroende för lösningen hos allmänhet och en bred grupp av intressenter i Sverige och utomlands både på lång och kort sikt.

## Nyckelord

BECCS, Växthusgasbalanser, FN:s hållbarhetsmål, Fjärrvärme, Negativa utsläpp.

## Summary

**Combined heat and power plants with carbon capture and storage (CCS) provide the opportunity to reduce the climate impact from electricity and heat production. With the assumption that bioenergy makes a net zero contribution to the carbon dioxide balance in the atmosphere, CCS applied to biogenic carbon dioxide (Bio-CCS) results in negative emissions. The technology can provide an opportunity at a societal level to compensate hard-to-abate greenhouse gas emissions. This report provides a sustainability analysis of the Bio-CCS value chain compared to a reference plant with no CCS. An underlying assumption is that bio-CCS constitutes a central component in a Swedish strategy for meeting the Swedish climate policy goal of net zero emissions in 2045 and negative emissions thereafter.**

The sustainability assessment refers to the entire value chain from separation and transport to storage of carbon dioxide for an adopted plant with or without carbon dioxide capture. The starting point is based on energy and greenhouse gas balances that have been carried out within the framework of the study.

Applications where biogenic carbon dioxide is separated have been varied and different composite transport solutions have been studied. The impact of the value chains sustainability has been analyzed based on the UN's 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and compared to a reference case with no CCS.

The analysis, under given assumptions, shows that capture, transport and storage of carbon dioxide in connection with bioenergy and waste-fired cogeneration plants can contribute to negative emissions of greenhouse gases in total for the entire value chain and thus make a significant contribution to combating climate change (SDG 13). At the same time other impacts arise in a number of sustainability aspects. These are both positive impacts such as job creation and adaptation of society in a direction towards lower climate impact, but also a negative impact on ecosystems as well as emissions from transport and other activities.

A conventional cogeneration plant today produces electricity and heat as energy services. In a combined heat and power plant with CCS, the new energy service *carbon capture* will also be added to the electricity and heating services. The addition of carbon dioxide capture as an energy service will result in reduced the generation of electricity and in many cases heat. This leads to a negative impact on SDG 7, Sustainable energy for all. At the same time the new service negative emissions is generated which is an essential part of society's strategy to reach ambitious greenhouse gas mitigation targets.

The results of this study show that the sustainability assessment for the Bio-CCS solution is largely based on underlying assumptions about what is required to meet climate goals. The results here provide direct positive results with regard to sustainability goals for societal and industrial development. This is due to the assumption about the need to establish permanent negative emissions, and Bio-

CCS is the only measure today in Sweden that can quickly deliver on this demand. At the same time, this shows how Bio-CCS is not an activity that is only a single sector matter but involves societal dimensions including a wide range of actors and interests. To this can also be added that this is not a solution that is handled within Sweden's borders - but the captured carbon dioxide is exported to be handled in another country. Sweden does not currently have its own capacity to take care of the final disposal of carbon dioxide. As a consequence, there will be a need for trust in the solution among the general public and a broad group of stakeholders in Sweden and abroad, both in the long and short term.

## Innehåll

|          |                                                                                                                                             |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                                                                                                            | <b>9</b>  |
| 1.1      | Bakgrund                                                                                                                                    | 9         |
| 1.2      | Metod                                                                                                                                       | 10        |
| <b>2</b> | <b>Generell beskrivning av CCS-värdekedjan</b>                                                                                              | <b>13</b> |
| 2.1      | Avskiljning av koldioxid                                                                                                                    | 13        |
| 2.2      | Transport av koldioxid                                                                                                                      | 13        |
| 2.2.1    | Lastbilstransport                                                                                                                           | 14        |
| 2.2.2    | Transport av koldioxid i pipeline                                                                                                           | 14        |
| 2.2.3    | Järnvägstransport                                                                                                                           | 14        |
| 2.2.4    | Fartygstransport                                                                                                                            | 15        |
| 2.3      | Geologisk lagring av koldioxid                                                                                                              | 15        |
| <b>3</b> | <b>Kvantifiering av energi- och växthusgasbalanser</b>                                                                                      | <b>17</b> |
| 3.1      | Typanläggning utan respektive med koldioxidavskiljning                                                                                      | 17        |
| 3.1.1    | Bioeldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (MEA)                                                                             | 17        |
| 3.1.2    | Bioeldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (HPC)                                                                             | 17        |
| 3.1.3    | Avfallseldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (MEA)                                                                         | 18        |
| 3.2      | Koldioxidtransport                                                                                                                          | 18        |
| 3.2.1    | Läckage vid koldioxidtransport                                                                                                              | 19        |
| 3.3      | Lagring av koldioxid                                                                                                                        | 19        |
| 3.4      | Byggnation och avveckling av infrastruktur                                                                                                  | 19        |
| 3.5      | Uppskattning av aggregerade utsläpp växthusgaser längs transport- och lagringskedjor                                                        | 20        |
| <b>4</b> | <b>SDG-analys</b>                                                                                                                           | <b>22</b> |
| 4.1      | FN:s hållbarhetsmål                                                                                                                         | 22        |
| 4.2      | Hållbarhetsanalys med SDG-impact assessment tool                                                                                            | 23        |
| 4.3      | Hållbarhetsbedömning: resultat                                                                                                              | 24        |
| 4.3.1    | Avskiljning koldioxid: Biobränsleeldat kraftvärmeverk med koldioxidavskiljning och motsvarande referensanläggning utan koldioxidavskiljning | 24        |
| 4.3.2    | Avskiljning koldioxid: Avfallseldat kraftvärmeverk koldioxidavskiljning och motsvarande referensanläggning utan koldioxidavskiljning        | 28        |
| 4.3.3    | Transport: Transport av infångad koldioxid                                                                                                  | 31        |
| 4.3.4    | Lagring: Geologisk lagring av koldioxid                                                                                                     | 34        |
| <b>5</b> | <b>Sammanfattning av resultat och diskussion</b>                                                                                            | <b>37</b> |
| 5.1      | Kraftvärmeanläggning                                                                                                                        | 37        |
| 5.2      | Koldioxidtransport                                                                                                                          | 38        |
| 5.3      | Geologisk lagring av koldioxid                                                                                                              | 39        |
| 5.4      | Diskussion hållbarhetsanalys                                                                                                                | 40        |
|          | <b>Referenslista</b>                                                                                                                        | <b>42</b> |

# 1 Inledning

Avskiljning, transport och lagring av koldioxid, CCS från den engelska förkortningen av "carbon capture and storage" i anslutning till kraftvärmeanläggningar ger möjlighet att reducera klimatpåverkan från el- och värmeproduktion. Samtidigt som koldioxid från förbränningen av bränsle fångas in och lagras, uppstår annan påverkan på en rad hållbarhetsaspekter. Detta är både positiv påverkan som jobbskapande och anpassning av samhället till minskad klimatpåverkan, men även negativ påverkan på ekosystem samt även utsläpp vid transporter och annan verksamhet. Lagar och regleringar säkerställer att verksamhetens påverkan ligger inom nivåer som är acceptabla. Den sammantagna hållbarhetsbedömningen är mer strategisk och avser en helhetsbedömning av ett brett spektrum av kvantitativa och kvalitativa aspekter, risker och möjligheter.

## 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.

Koldioxidavskiljning är en lösning att fånga in koldioxid vid en utsläppskälla och därefter transportera och lagra in koldioxiden i geologiska formationer för många tusen år.<sup>1</sup> Genom infångning och sedan lagring av koldioxiden fås en nettopåverkan på mängden kol i biosfären. I de fall som koldioxid från fossila material fångas in fås en "nära noll-koldioxidemission" och i de fall koldioxid från biobaserade material fångas in fås en "negativ koldioxidemission" från bränsle-

<sup>1</sup> IPCC, Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005.

och förbränningssteget givet återväxt av ny biomassa som balanserar det uttag av biomassa som har gjorts för att driva den process där avskiljningen äger rum.<sup>2</sup>

Syftet med denna rapport är att utifrån ramverket för Agenda för Hållbar Utveckling 2030 analysera hur värdekedjan för CCS-lösningar i Sverige inom fjärrvärmesektorn faller ut ur ett hållbarhetsperspektiv. Analysen utgår från Förenta Nationernas (FN) 17 hållbarhetsmål (Sustainable Development Goals, SDG).<sup>3</sup> Dessa mål skapar ett ramverk för hur vi kan betrakta olika dimensioner av hållbarhet. De 17 hållbarhetsmålen är sammansatta (integrerade) och kan diskuteras enskilt, men skall alltid betraktas som en del av alla 17 målen – hållbarhetsbedömningen är alltid en sammansatt bedömning av alla målen gemensamt. Ett mål kan vidare inte kompensera för ett annat mål utan det är en helhet som skall betraktas.

## 1.2 METOD

Fokus för hållbarhetsanalysen i denna delrapport ligger på påverkan från infångning och associerade hjälpsystem. En konventionell kraftvärmeanläggning idag producerar el och värme som energitjänster. I en kraftvärmeanläggning med CCS kommer även energitjänsten koldioxidinfångning att läggas till el- och värmestjänsterna. Tillägget av koldioxidinfångning kommer att reducera mängden el och/eller värme ut från kraftvärmeanläggningen med CCS jämfört med samma anläggning utan CCS. Denna ansats är utgångspunkten för hållbarhetsanalysen. För att kunna erhålla komparativa resultat kopplat till värdekedjan för CCS hålls bränslet in i anläggningen konstant. Därmed kan *skillnaden* i den potentiella påverkan på hållbarhetsmålen längs värdekedjan mellan å ena sidan en anläggning med CCS installerad och referensanläggning utan CCS studeras. I och med att bränslemängden hålls konstant kommer uppströms påverkan vara densamma för anläggning med och utan CCS och kommer därmed inte påverkas i analysen.

I analysen betraktas CCS-kedjan uppdelad i sina tre huvudsakliga delar:

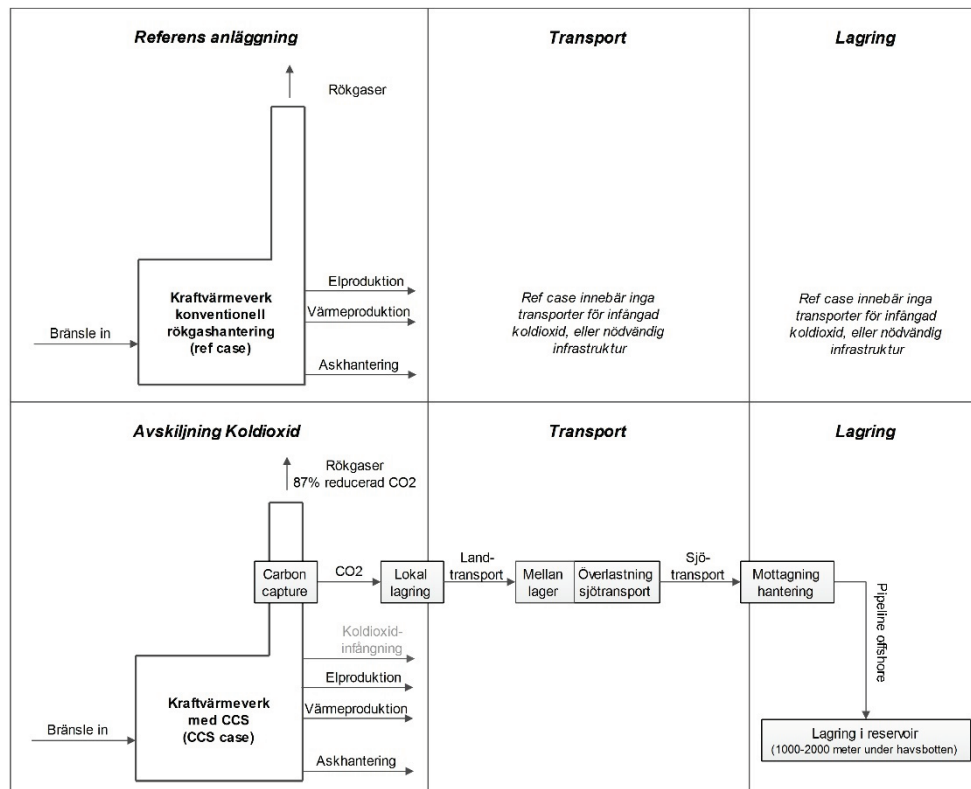
- 1) avskiljning av koldioxid vid anläggning,
- 2) transport av den infångade koldioxiden till en lagringsplats, och
- 3) långsiktig lagring av koldioxiden på lagringsplatsen.

Delarna för transport (2) och långsiktig lagring (3) kommer att vara samma oberoende av infångningsteknik och huruvida det är ett avfalls- eller ett biobränsleeldat kraftvärmeverk.

Figur 1 ger en förenklad bild av kraftvärmeanläggning med CCS och efterföljande steg för slutförvar och referensfall för komparativ analys av påverkan. I referensfallet där kraftvärmeanläggningen inte har någon koldioxidinfångning kommer det inte att uppstå någon transport eller behov av lagring.

<sup>2</sup> Kenneth Möllersten, Jinyue Yan, & José R Moreira, Potential market niches for biomass energy with CO<sub>2</sub> capture and storage—opportunities for energy supply with negative CO<sub>2</sub> emissions, Biomass and bioenergy, 2003.

<sup>3</sup> <https://sdgs.un.org/goals>



Figur 1: Förenklad bild av de tre delarna. För referensfall kommer transport och lagring representeras av ett 0-fall.

Genom en bedömning av energibalans och växthusgasutsläpp (positiva och negativa utsläpp) för hela värdekedjan från avskiljning, transport och lagring av koldioxid för ett antal kombinationer av tekniker för koldioxidavskiljning och lösningar för koldioxidtransport till den slutliga lagringsplatsen.

Det metodologiska ramverk som används för att analysera påverkan i relation till FN:s hållbarhetsmål är "SDG Impact Assessment Tool".<sup>4</sup> SDG Impact Assessment Tool skapar en matris där alla de 17 hållbarhetsmålen analyseras gemensamt och sammantagna bedömningar görs för vart och ett av målen. Distinktioner mellan direkt och indirekt påverkan lyfts, samt även potentiell positiv påverkan samt möjliga risker för negativ påverkan.

Påverkan på systemplan kommer ske på en rad sätt. Framförallt är det en effekt av att ytterligare en energitjänst introduceras i kraftverksanläggningen – dvs koldioxidinfångningen. Denna nya energitjänst, kommer resultera i effekter i form av reducerade mängder av energitjänsterna värme och/eller el. Man kan hantera detta med åtgärder med ökad produktionskapacitet, men även åtgärder på användarsidan (energieffektivisering) samt beakta systemförändringar som ett led av att samhällets behov av energitjänster förändras.

Studien utgår från antagandet att bio-CCS utgör en nödvändig del i en svensk strategi för att klara det svenska klimatpolitiska målet nettonollutsläpp 2045 och negativa utsläpp därefter. *Sektorns vision* är därmed att CCS är nödvändigt och en del i det hållbara energiscenariot i Sverige. Detta innebär vidare att denna analys

<sup>4</sup> <https://sdgimpactassessmenttool.org/en-gb>.

inte är en hållbarhetsbedömning av värdekedjan CCS jämfört med ett alternativt scenario kring klimatlösningar för fjärrvärme som *inte inkluderar* CCS men som ger samma resultat kring nettonoll-utsläpp i Sverige.

## 2 Generell beskrivning av CCS-värdekedjan

**CCS-värdekedjan består av tre huvudsakliga steg – koldioxidavskiljning vid utsläppskällan, koldioxidtransport från utsläppskällan till den slutliga lagringsplatsen samt, slutligen, injektion och långsiktig lagring av koldioxiden i djupt belägna geologiska formationer. I detta avsnitt ges en generell beskrivning av värdekedjan.**

### 2.1 AVSKILJNING AV KOLDIOXID

CCS bygger på att koldioxid avskiljs från rökgasen så att en gasström med en hög andel koldioxid erhålls för transport- och lagringsstegen. Även om det är tekniskt möjligt att uppnå en nära hundra procentig koncentration av koldioxid efter avskiljning det skulle vara mycket dyrt att åstadkomma.<sup>5</sup> Små mängder av rökgasens övriga beståndsdelar och ämnen från avskiljningsprocessen finns därför normalt kvar i den gas som ska transporteras och lagras. Avskiljningssteget kräver dels kapitalinvesteringar för utrustning och medför även rörliga kostnader, primärt på grund av energiförluster.

Det finns olika metoder för avskiljning av koldioxid, som befinner sig på olika utvecklingsstadium. I detta projekt analyserar vi avskiljning efter förbränning, en idag kommersiellt tillämpad avskiljningsteknik i ett flertal applikationer.<sup>6</sup> Vid avskiljning efter förbränning renas rökgasen från koldioxid, vanligtvis genom att koldioxiden absorberas av en kemisk förening (en absorbent). I ett därpå följande processteg skiljs koldioxiden från absorbenten som därefter kan återanvändas. Exempel på möjliga absorbenter är aminer, ammoniak och kaliumkarbonat, där den förstnämnda är mest använd i dagsläget.<sup>7</sup> När en amin används som absorbent konsumerar processen värme för att frigöra den absorberade koldioxiden från aminen. Om i stället kaliumkarbonat används som absorbent är det trycksättning av rökgaserna som är energikrävande varför processen konsumerar arbete.

### 2.2 TRANSPORT AV KOLDIOXID

Avskild koldioxid kommer behöva transporteras till en slutlagringsplats. De transportalternativ som diskuteras är transport via pipeline (rörledning), fartyg, tåg och lastbil.<sup>8</sup> Exempelvis kan lastbil, tåg eller pipeline användas för transport mellan avskiljningsanläggning och djuphamn, varifrån vidare transport kan ske per fartyg.

Före transport komprimeras (transport i pipeline) eller förvätskas koldioxiden för att reducera de volymer som behöver transporteras. Vid lastbils-, tåg- och

<sup>5</sup> International Energy Agency, Energy technology perspectives 2020 - Special report on carbon capture, utilisation and storage (2020).

<sup>6</sup> Mai Bui, et al. Carbon capture and storage (CCS): the way forward, Energy and environmental science 11 (2018), s. 1062-1176.

<sup>7</sup> Global CCS Institute, Carbon removal with CCS technologies (2021).

<sup>8</sup> International Energy Agency, 2020.

fartygstransport krävs att koldioxiden från avskiljningsenheten först förvätskas innan den mellanlagras temporärt för att sedan transporteras vidare.

Den generella principen kring förvätskning kan beskrivas som en kombination av processteg för kylning och komprimering av CO<sub>2</sub>. Båda processerna förbrukar el.

Val av transportlösning handlar om en sammanvägd bedömning av bäst lösning förutsatt given ekonomi, tillgång till transportlösning (hamn, järnväg osv), miljöaspekter och andra aspekter.

### 2.2.1 Lastbilstransport

Lastbilstransport är en etablerad teknik för koldioxidtransport i vissa applikationer där gasen transporteras kortare sträckor från avskiljningsanläggningen till ett mellanlager.<sup>9</sup> För lastbilstransport finns ett antal storlekar och varianter av tankar specifikt anpassade för transport av koldioxid. ASCO erbjuder olika storlekar på koldioxidtankar för lastbilstransport som kan monteras på valfri lastbil eller släpvagn lokalt.<sup>10</sup> De erbjuder totalt tre varianter av koldioxidtankar mellan 7 – 28 ton koldioxid. Det finns andra företag som erbjuder tankar i storlek mellan 28 – 34 ton beroende på om det är en lösning i form av trailer eller bil och släp.

### 2.2.2 Transport av koldioxid i pipeline

Transport av gas i en pipeline är en väletablerad teknik.<sup>11</sup> Erfarenheten av storskalig och långväga pipelinetransport av gasformiga kolväten spänner över flera årtionden. Transport av komprimerad koldioxid i pipeline sker sedan lång tid tillbaka i stor skala framför allt i Nordamerika.<sup>12</sup> I Sverige är dock erfarenheterna mer begränsade. Metoder för att övervaka pipelinetransporter finns tillgängliga, vilket gör att eventuella läckage av koldioxid kan identifieras och fel åtgärdas.

### 2.2.3 Järnvägstransport

Järnvägstransport är ett effektivt transportmedel när det finns utbyggda järnvägsförbindelser.<sup>13</sup> Transport av koldioxid förekommer i för ändamålet speciellt utvecklade järnvägsvagnar.<sup>14</sup> Koldioxid transporteras till exempel reguljärt på järnväg från Sverige till kunder i Norge, volymerna är dock relativt begränsade och detta avser kunder som använder koldioxid i sin produktion. Exempelvis innehåller företaget VTG:s flotta en specifikt anpassad för koldioxidtransport med en lastningskapacitet på 61 – 62 ton koldioxid per vagn.<sup>15</sup>

<sup>9</sup> Global CCS Institute, 2021.

<sup>10</sup> Vattenfall, The role of BioCCS in achieving negative carbon dioxide emissions in Uppsala. Project final report (2020).

<sup>11</sup> Bui et al., 2018.

<sup>12</sup> Bui, et al., 2018.

<sup>13</sup> Simon Roussanaly et al., Techno-economic evaluation of CO<sub>2</sub> transport from a lignite-fired IGCC plant in the Czech Republic, International Journal of Greenhouse Gas Control 65 (2017) s. 235-250.

<sup>14</sup> IEAGHG, CO<sub>2</sub> transport via pipeline and ship (2021).

<sup>15</sup> Vattenfall, 2020.

#### 2.2.4 Fartygstransport

Koldioxid transporteras redan i dag med fartyg i Europa.<sup>16</sup> Volymerna koldioxid som hanteras är dock små i relation till vad som kommer ske vid utbyggnad av CCS anläggningar. Slutmålet för nuvarande transporter är inte ett permanent koldioxidlager utan användning av koldioxiden inom exempelvis livsmedelsindustrin. Fartygstransport av koldioxid liknar dock i tekniskt avseende transport av vissa flytande kolväten. Av dessa verksamheter finns betydande erfarenhet sedan mer än 50 år tillbaka i tiden. Samma varv som bygger LNG- och LPG-fartyg kan också bygga fartyg för koldioxidtransport.

Koldioxid som avskiljs vid en anläggning måste mellanlagras på land i ett mellanlager i väntan på fartygstransport till lagringsplatsen.

Under transporten förångas en viss mängd av koldioxiden inuti tankarna, vilket skulle höja trycket om den inte ventilerades. En viss förlust av koldioxid (någon procent av transporterad last) sker därför normalt under transporten. Utöver detta beräknas någon bråkdel procent läcka ut vid lastning och lossning.

### 2.3 GEOLOGISK LAGRING AV KOLDIOXID

Det alternativ för långsiktig lagring som i nuläget är huvudspåret för CCS är så kallad geologisk lagring av koldioxid. Sådan lagring kan i sin tur ske på olika sätt. Lagring i s.k. djupt liggande akviferer är ett tekniskt sett moget alternativ som bedöms ha störst potential.<sup>17</sup> IPCC har bedömt att det är sannolikt att 99 procent eller mer av den koldioxid som injekteras i en lämplig lagringsplats finns kvar efter 1 000 år.<sup>18</sup> Koldioxiden som injekteras kommer med tiden att mineraliseras och därmed gå från gasform till en fast form. Denna process bidrar till att lagringsmetoden är så pass långsiktig. Bedömningen av effektiviteten över tiden bygger inte bara på erfarenheter från nutida lagringsprojekt av koldioxid och simuleringar, utan även på observationer av hur gas och kolväten förekommer naturligt i berggrunden. Den globalt sett rikliga förekomsten av olje-, naturgas- och koldioxidfickor visar att kolväten och gaser rent principiellt kan hållas kvar i geologiska formationer i tiotals miljoner år.

De tekniker som krävs för datorsimulering av lagringsplatsen, för injektering av koldioxid samt övervakning av injekterad koldioxid mm har utvecklats inom olje- och gasindustrin och kan nu tillämpas för CCS med små modifikationer.

Med en djup akvifer avses en akvifer som befinner sig på sådant djup att trycket är så högt att koldioxid kan lagras i s.k. superkritiskt tillstånd (när omgivningen är över kritisk temperatur och kritiskt tryck försvinner fasskillnaden mellan vätska och gas). Generellt gäller att en akvifer måste ligga på minst 800 meters djup för att dessa kriterier ska uppfyllas.

En förutsättning för att en akvifer ska kunna erbjuda möjlighet till koldioxidlagring är att det finns en tät (mycket låg permeabilitet) takbergart ovanför akviferen.

<sup>16</sup> Hisham Al Baroudi et al., A review of large-scale CO<sub>2</sub> shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage, Applied Energy 2087 (2021).

<sup>17</sup> International Energy Agency, 2020; Global CCS Institute, 2021.

<sup>18</sup> IPCC, 2005.

Takbergarten ska även vara fri från sprickor och helst vara av större tjocklek än 100 meter. Takbergarten ska bilda en ogenomtränglig barriär för koldioxiden. Exempel på möjliga takbergarter är lera, lersten och lerskiffer. Koldioxid som injekteras i en djup akvifer binds genom flera olika mekanismer. Dessa förekommer parallellt och andelarna av koldioxid som är bundna på de olika sätten kommer även ändras över tiden. Med tiden binds koldioxiden allt hårdare i lagret, vilket gör att risken för koldioxidläckage minskar.

### 3 Kvantifiering av energi- och växthusgasbalanser

**I detta avsnitt redogörs för de antaganden och beräkningar som ligger till grund för studiens kvantifiering av energi- och växthusgasbalanser i CCS-värdekedjans tre delar.**

#### 3.1 TYPANLÄGGNING UTAN RESPEKTIVE MED KOLDIOXIDAVSKILJNING

Som har angivits ovan utgår hållbarhetsanalysen från att bränslet in i anläggningen hålls konstant och därmed kan effekterna på energitjänster från anläggningen studeras, samt associerad hållbarhetspåverkan längs värdekedjan.

Prestanda har beräknats för anläggningar utan respektive med koldioxidavskiljning som underlag för den komparativa analysen.

##### 3.1.1 Bioeldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (MEA)

I CCS-fallet används lösningsmedlet monoetanolamin (MEA) för avskiljning av koldioxid. Avskiljningen sker vid lågt tryck och den infångade koldioxiden levereras vid 1 atmosfärs tryck. Processen förbrukar viss el för drift av pumpar med mera. Regenerering av lösningsmedlet förbrukar ånga för att frigöra koldioxid från lösningsmedlet. Delar av värmets kan återvinnas i fjärrvärmesystemet. 90 procents avskiljning av koldioxiden i rökgaserna har antagits.

I Tabell 1 framgår hur anläggningens prestanda påverkas när koldioxidavskiljning införs, baserat på simuleringar som har genomförts inom ramen för föreliggande forskningsprojekt. Vi ser att nettoproduktionen av såväl el som värme minskar.

I CCS-processen förbrukas MEA. Storleken på förbrukningen beror på flera faktorer och mest på rökgasernas halter av  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$  och  $\text{NO}_2$  samt den högsta förkommande temperaturen i processen.

##### 3.1.2 Bioeldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (HPC)

CCS-anläggningen använder i detta fall lösningsmedlet HPC ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) för avskiljning av koldioxid. HPC-processen baseras på en så kallad trycksving vilket innebär att koldioxiden fångas in vid högt tryck och frigörs genom att trycket minskar. I HPC-systemet finns, till skillnad mot MEA, högvärdig värme att nyttja till bland annat fjärrvärme i det befintliga systemet.

Som framgår i Tabell 1 bidrar introduktion av koldioxidavskiljning en starkt reducerad elproduktion netto samtidigt som värmeproduktionen ökar. 90 procents avskiljning av koldioxiden i rökgaserna har antagits.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Kåre Gustavsson et al., BECCS with combined heat and power: assessing the energy penalty, International Journal of Greenhouse Gas Control 108 (2021).

**Tabell 1: Koldioxidavskiljningens påverkan på energitjänster från kraftvärmeanläggning relativt en referensanläggning med samma mängd bränsle in. Avskiljning av 90% koldioxidinnehållet i rökgaserna har ansatts som en rimlig nivå.**

|                                   | Koldioxidavskiljning med MEA | Koldioxidavskiljning med HPC-processen |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| Elproduktion                      | -19%                         | -67%                                   |
| Fjärrvärme                        | -31%                         | +25%                                   |
| Koldioxidavskiljning i rökgaserna | - 90%                        | - 90%                                  |

Båda fallen inkluderar energiåtgången för förvätskning av koldioxiden.

### 3.1.3 Avfallseldat kraftvärmeverk med avskiljning efter förbränning (MEA)

Likartade prestanda har antagits för avfallseldade kraftvärmeverk. En skillnad är dock att ca. en tredjedel av koldioxiden är av fossilt ursprung baserat på 2019 års data.<sup>20</sup> Detta innebär att denna del av den avskilda koldioxiden kommer utgöra ett noll-bidrag till koldioxid i atmosfären, och den biogena delen utgör en koldioxidsänka.

## 3.2 KOLDIOXIDTRANSPORT

Nyckeltal som har använts vid beräkningar av energiförbrukning och koldioxidutsläpp av fossilt ursprung som uppstår i samband med transport av koldioxid redovisas i Tabell 2.

För vägtransporter har 66 procent biodiesel antagits, vilket är i linje med reduktionsnivåer till 2030 för bensin och diesel som har beslutats av riksdagen, fartyg har antagits drivas med 100 procent diesel. Tåg och pipeline har antagits förbruka el för sin drift.

**Tabell 2 Antaganden energiåtgång och beräkning av koldioxidutsläpp för olika transportalternativ.**

|                             | Lastbil           | Järnväg | Fartyg             | Pipeline           |
|-----------------------------|-------------------|---------|--------------------|--------------------|
| Energiförbrukning (kWh/tkm) | 0,4 <sup>21</sup> | 0,04    | 0,04 <sup>21</sup> | 0,25 <sup>22</sup> |

Emissionsfaktorer för el kan variera stort beroende på vilken systemavgränsning och ansats man anlägger i livscykelberäkningen. I Tabell 3 anges emissionsfaktorer för el och fossil diesel. För koldioxidmarginal vid elproduktion har ett värde valts som representerar koldioxidmarginalen år 2030 i ett scenario med hög klimatambition. Det valda scenariot kan anses vara representativt för en utveckling som omfattar utbyggnad av BECCS i Sverige.

<sup>20</sup> Naturvårdsverket, 2020.

<sup>21</sup> Inge Vierth, Anna Mellin, Svensk godsstudie baserad på nationell och internationell litteratur", VTI (2008).

<sup>22</sup> Jeffrey Bennett et al., Life cycle analysis of power cycle configurations in bioenergy with carbon capture and storage, Procedia CIRP 80 (2019), s. 340-345.

**Tabell 3: Antaganden om emissionsfaktorer för el (nordisk elmix, marginal el) och fossil diesel.**

| Emissionsfaktorer<br>(kgCO <sub>2</sub> /kWh) | Nordisk elmix      | CO <sub>2</sub> -marginal | Fossil diesel |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
|                                               | 0,09 <sup>23</sup> | 0,35 <sup>24</sup>        | 0,27          |

### 3.2.1 Läckage vid koldioxidtransport

Transport av flytande koldioxid är förknippad med generering av avkokningsgas. Avkokningsgasen är den ånga som produceras under transport på grund av rörelsers påverkan på lastinnehållet samt på grund av temperaturskillnaden mellan lasten och omgivningen. Graden av avkokning påverkas vidare även av transportavstånd och tankdesign mm. Det saknas exakta värden i litteraturen avseende avkokningsgraden per dag för koldioxidtransport, men approximationer i spannet 0,12 - 0,15 procent har föreslagits.<sup>25</sup> I föreliggande studie har en daglig avkokning om 0,15 procent av den totala mängden antagits.

## 3.3 LAGRING AV KOLDIOXID

I beräkningarna har koldioxidlagring vid det norska Northern Lights-projektet<sup>26</sup> antagits. Enligt en livscykelanalys<sup>27</sup> avseende norska *Full-scale CCS chain*-projektet är koldioxidutsläppen på livscykelbasis för transport och lagring 0.032 CO<sub>2e</sub> per ton slutligt lagrad koldioxid. Beräkningarna bygger på antaganden om 25 års drift och fullt utnyttjande av projektets lagringskapacitet. Baserat på egna beräkningar har utsläppsnivån korrigerats<sup>28</sup> för utsläpp som uppstår för fartygstransport av CO<sub>2</sub> från Oslo Fortum Varmes respektive Norchems anläggningar, där koldioxidavskiljningen äger rum. Detta eftersom utsläpp för transport till Northern Lights omlastningsterminal i Öygarden ingår i de beräkningar avseende transport och lagringskedjor som gjorts inom ramen för föreliggande projekt. Efter korrigeringen återstår 0.018 tCO<sub>2e</sub>/tCO<sub>2</sub>lagrad för transport och lagring räknat från omlastningsterminalen i Öygarden.

## 3.4 BYGGNATION OCH AVVECKLING AV INFRASTRUKTUR

Översiktsartiklar som har analyserat resultat från LCA-studier angående CCS visar att byggnation och avveckling av infrastruktur för CCS (inklusive avskiljning, transport och lagring) ger en försumbar inverkan på växthusgasutsläppen.<sup>29</sup> Ur ett

<sup>23</sup> Annamaria Sandgren, Nilsson Johanna. Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export, SMED (2021).

<sup>24</sup> Martin Hagberg et al., Miljövärdering av energilösningar i byggnader, IVL Svenska miljöinstitutet (2017).

<sup>25</sup> Al Baroudi, 2021.

<sup>26</sup> <https://ccsnorway.com/>

<sup>27</sup> Gassnova, Full chain CO<sub>2</sub> footprint. Report: 17/164-4 (2019).

<sup>28</sup> Fartyg Oslo-Bergen: 700 km. t/r 1400 km. Ger ca. 0.015 tCO<sub>2e</sub>/tCO<sub>2</sub>stored. CO<sub>2</sub> för transport från omlastningsterminalen och lagring blir då ca. 0.018 tCO<sub>2e</sub>/tCO<sub>2</sub>stored.

<sup>29</sup> IEAGHG, Environmental evaluation of CCS using Life Cycle Assessment (LCA), Report: 2010/TR2 (2010); Rosa Cuellar-Franca, Adisa Azapagic, Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts, Journal of CO<sub>2</sub> utilisation 9 (2015), s. 82-102.

livscykelperspektiv motsvarar dessa utsläpp i storleksordningen 0,2 till 0,3 procent av geologiskt lagrad koldioxid.

### 3.5 UPPSKATTNING AV AGGREGERADE UTSLÄPP VÄXTHUSGASER LÄNGS TRANSPORT- OCH LAGRINGSKEDJOR

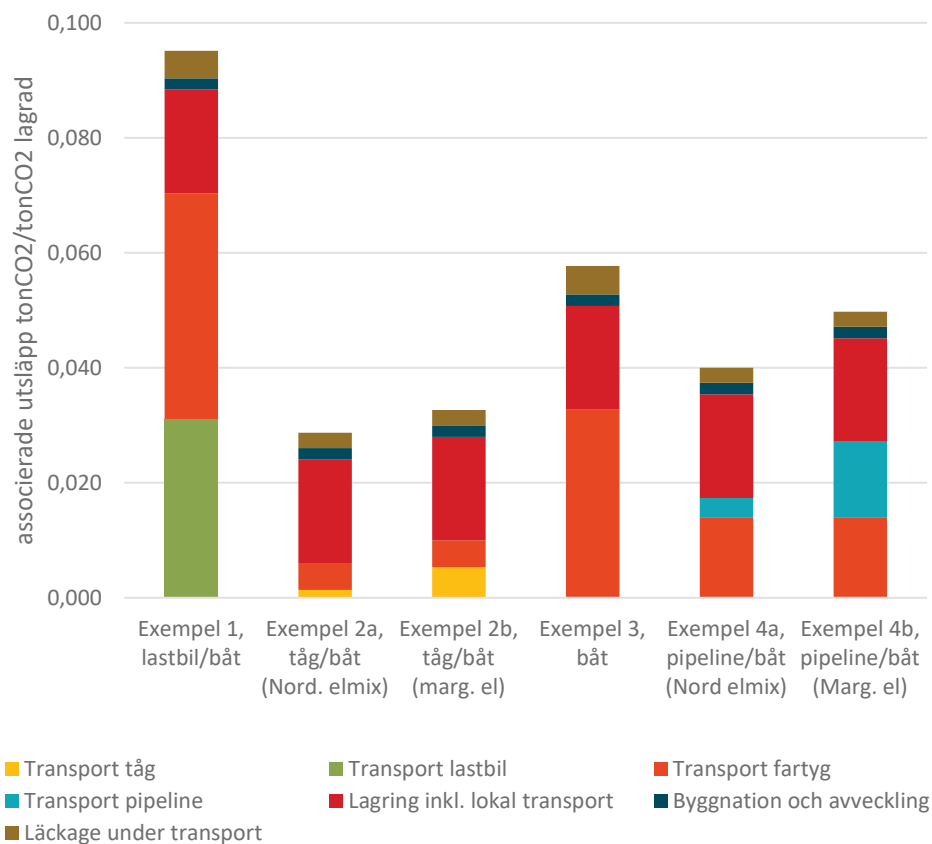
Ett antal illustrativa transport- och lagringskedjor har definierats och för dessa har energiförbrukning och koldioxidutsläpp beräknats baserat på antaganden i Tabell 2.

De fall som har beräknats är:

- Exempel 1: Transport från ort i Mälardalen med lastbil 15 mil till hamn på Östersjökusten, fartygstransport 182 mil till Northern Lights omlastningsterminal i Öygarden. Transport till koldioxidlagret och geologisk lagring.
- Exempel 2: Transport från ort i Mälardalen med järnväg 38 mil till Göteborgs hamn, fartygstransport till Northern Lights omlastningsterminal i Öygarden. Transport till koldioxidlagret och långsiktig lagring.
- Exempel 3: Transport från ort i Mälardalen fartyg 164 mil till Northern Lights omlastningsterminal i Öygarden. Transport till koldioxidlagret och långsiktig lagring.
- Exempel 4: Transport från ort i Göteborgsregionen med pipeline 15 mil till Göteborgs hamn, fartygstransport 65 mil till Northern Lights omlastningsterminal i Öygarden. Transport till koldioxidlagret och långsiktig lagring.

För fartygs- och lastbilstransporter har returresa med tom last antagits. Beräkningarna visar att koldioxidutsläpp förknippade med transport och lagring varierar i intervallet 4 och 9 procent av mängden geologiskt lagrad koldioxid. För avfalls-CCS utgör koldioxidutsläpp förknippade med transport- och lagringsaktiviteter 4,5 - 14 procent av slutligt lagrad biogen koldioxid.

Resultat för aggregerade associerade utsläpp längs hela värdekedjan för de olika hanteringsexemplen redovisas i Figur 2.



**Figur 2: Totala associerade utsläpp längs värdekedjans olika steg, exempel 1-4 (associerade utsläpp, ton CO<sub>2</sub>/ton CO<sub>2</sub> lagrad).**

Några slutsatser som kan dras är att lastbilstransport ger stora bidrag till koldioxidutsläpp även vid relativt korta transportavstånd, vilket hänger samman med en hög energiförbrukning per tonkilometer. Tågtransport framstår som ett koldioxideffektivt transportalternativ. Fartygstransport ger märkbara koldioxidutsläpp. Möjligheter att minska fartygstransporternas utsläppsbidrag diskuteras i avsnitt 5.

## 4 SDG-analys

**Avsnittet innehåller en hållbarhetsanalys av CCS-lösningar i Sverige inom fjärrvärmesektorn. Analysen utgår ifrån ett brett perspektiv på hållbarhet där Agenda 2030 och FN:s 17 hållbarhetsmål (Sustainable Development Goals, SDG) tas som utgångspunkt för hur vi kan betrakta olika dimensioner av hållbarhet.**

### 4.1 FN:S HÅLLBARHETSMÅL

På toppmötet 2015 enades FN:s medlemsstater om en handlingsplan (Agenda 2030) och de mål för hållbar utveckling som kommer att styra arbetet för hållbar utveckling 2016–2030. Syftet med handlingsplanen och målen är att avskaffa extrem fattigdom i världen och trygga välfärden på ett sätt som är hållbart med tanke på miljön.

Syftet med Agenda 2030 är att vägleda en hållbar utvecklingsprocess såväl när det gäller ekonomi och människors välfärd samt miljö- och klimatarbete. Förutom den politiska deklarationen och målen för hållbar utveckling innehåller Agenda 2030 åtaganden för att bidra med medel för genomförande av målen och uppföljning av genomförandet.

Det finns sammanlagt 17 mål för hållbar utveckling. Dessa 17 mål är uppdelade i totalt 169 delmål. Till vardera av dessa delmål finns sedan över 200 globala indikatorer för uppföljning. Det finns även vid sidan om dessa har staterna sina egna nationella indikatorer.

Alla 193 länder som är del av FN har åtagit sig att främja Agenda 2030 i sin helhet. De 17 hållbarhetsmålen är :<sup>30</sup>

1. *Ingen fattigdom* - Utplåna all form av fattigdom överallt.
2. *Ingen hunger* - Utplåna hunger, tryggad livsmedelsförsörjning och förbättrad nutrition och främjande av ett hållbart jordbruk.
3. *Hälsa och välbefinnande* - Garantera ett hälsosamt liv och uppmuntra välmående för alla åldrar.
4. *God utbildning för alla* - Garantera en inkluderande, rättvis utbildning av god kvalitet och uppmuntra möjligheter till livslångt lärande för alla.
5. *Jämställdhet* - Uppnå jämställdhet och förstärka alla kvinnors och flickors rättigheter och möjligheter.
6. *Rent vatten och sanitet för alla* - Garantera tillgång till och ett hållbart användande av vatten och sanitet för alla.
7. *Hållbar energi för alla* - Garantera tillgång till prisvärd, pålitlig, hållbar och modern energi för alla.
8. *Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt* - Uppmuntra en fortsatt inkluderande och hållbar ekonomisk tillväxt, fullt och produktivt arbete och anständiga jobb.

---

<sup>30</sup> <https://sdgs.un.org/goals>

9. *Hållbar industri, innovationer och infrastruktur* - Bygga upp en hållbar infrastruktur, verka för en inkluderande och hållbar industrialisering och främja innovation.
10. *Minskad ojämlikhet* - Minska ojämlikheter inom och mellan länder.
11. *Hållbara städer och samhällen* - Göra städer och mänskliga bosättningar inkluderande, säkra, motståndskraftiga och hållbara.
12. *Hållbar konsumtion och produktion* - Säkerställa hållbara konsumtions- och produktionsmönster.
13. *Bekämpa klimatförändringarna* - Utan dröjsmål agera för att bekämpa klimatförändringen och dess inverkan.
14. *Hav och marina resurser* - Bevara och nyttja haven och marina resurser på hållbart vis.
15. *Ekosystem och biologisk mångfald* - Skydda, återställa och uppmuntra till hållbar användning av ekosystemen på land, hantera skogen hållbart, bekämpa ökenspridning, stoppa och återställa landdegradering och stoppa förlusten av biologisk mångfald.
16. *Fredliga och inkluderande samhällen* - Uppmuntra fredliga samhällen, tillgodose tillgång till rättvisa för alla och bygga effektiva, ansvariga och inkluderande institutioner på alla nivåer.
17. *Genomförande och globalt partnerskap* - Stödja verkställandet av hållbar utveckling i större utsträckning och återvitalisera det globala partnerskapet för hållbar utveckling.

Målen är komplementära och integrerade. Åtgärder för främjande vissa specifika aspekter kommer påverka hela hållbarhetsagendan utifrån olika perspektiv – både i positiv och negativ riktning. En hållbarhetsanalys utifrån Agenda 2030 måste således per nödvändighet beakta alla mål.

## 4.2 HÅLLBARHETSANALYS MED SDG-IMPACT ASSESSMENT TOOL

För hållbarhetsanalysen i denna studie har analysverktyget "SDG Impact Assessment Tool" använts.<sup>31</sup> SDG Impact Assessment Tool är ett analysverktyg som är framtaget för att systematiskt bedöma och analysera effekter på SDG-målen från till exempel implementering av innovationer, investeringar, forskningsaktiviteter och organisationsförändringar. Genom att använda analysverktyget kompletteras förståelsen för hur ett bedömningsobjekt förhåller sig till hållbarhetsmålen och stöd fås att prioritera åtgärder framåt. Verktöget bygger på ett systematiskt kvalitativt angreppssätt för att identifiera SDG-effekter. Verktögets konstruktion säkerställer att potentiella effekter på alla hållbarhetsmål beaktas och dokumenteras på ett systematiskt sätt.

SDG Impact Assessment Tool skapar en matris där alla de 17 hållbarhetsmålen analyseras gemensamt och sammantagna bedömningar görs för vart och ett av målen. Analysen avseende påverkan på hållbarhetsmålen inkluderar avvägningar mellan hur olika påverkan sker mellan å ena sidan referensfallet och å andra sidan

<sup>31</sup> Martin Eriksson et al., SDG Impact Assessment Tool. Guide 1.0, Gothenburg center for sustainable development (2020).

det tänkta scenariot. Distinktioner mellan direkt och indirekt påverkan lyfts, samt även potentiell positiv påverkan samt möjliga risker för negativ påverkan.

Hållbarhetsanalysen fokuserar på påverkan från applicering av avskiljning och associerade hjälpsystem. I den analytiska ansatsen hålls bränslet in i anläggningen konstant och därmed kan *skillnaden* i effekterna på energitjänster från referensanläggning och anläggning med CCS studeras, samt den associerade hållbarhetspåverkan längs värdekedjan.

SDG-analysen tar avstamp i systembeskrivningarna av referensfall och värdekedja med CCS i avsnitt 2 och 3. Genom uppdelningen i tre delar (Figur 1) kommer delen för transport och lagring vara samma för alla fall med CCS.

### 4.3 HÅLLBARHETSBEDÖMNING: RESULTAT

#### 4.3.1 Avskiljning koldioxid: Biobränsleeldat kraftvärmeverk med koldioxidavskiljning och motsvarande referensanläggning utan koldioxidavskiljning

Analysen avser en kraftvärmeanläggning med koldioxidavskiljning relativt motsvarande konventionella kraftvärmeanläggning. I anläggningen med koldioxidavskiljning påverkas el och värmeproduktionen till förmån för energitjänsten koldioxidinfångning. Det kommer således bli ytterligare en energitjänst relativt referensanläggningen.

*Övergripande beskrivning av påverkan*

Figur 6 illustrerar utfallet av hållbarhetsanalysen avseende applicering av koldioxidavskiljning i en kraftvärmeanläggning. Analysen visar på direkt positiv påverkan på hållbarhetsmål 9, 12 och 13, indirekt positiv påverkan på hållbarhetsmål 8, 11 och 14 samt direkt negativ påverkan på hållbarhetsmål 7. Bedömningen avseende övriga hållbarhetsmål är att påverkan är försumbar.

|                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Direct positive   |   |   |   |   |   |   |   |   | 9 |    |    | 12 | 13 |    |    |    |    |
| Indirect positive |   |   |   |   |   |   |   | 8 |   |    | 11 |    |    | 14 |    |    |    |
| No impact         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |   |   |   | 10 |    |    |    |    | 15 | 16 | 17 |
| Indirect negative |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Direct negative   |   |   |   |   |   |   | 7 |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |

Figur 3. Utfall av SDG-analys på steget "biobränsleeldat kraftvärmeverk med koldioxidavskiljning" jämfört med motsvarande "referensanläggning utan koldioxidavskiljning".

*Direkt positiv påverkan*

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur. | I en värld med absolut behov av att begränsa halten av växthusgaser i atmosfären kommer nyttjande av biomassa i en förbränningsanläggning med CCS att vara en mer naturresurseffektiv lösning och bidrar till installation av miljöriktig teknik jämfört med samma lösning utan CCS (9.4). Detta är en direkt positiv påverkan. Indirekt positiv påverkan kopplad till teknisk utveckling, forskning och innovation inom området av CCS och integrering av CCS i energianläggningar (9.5, 9.B).                                                                |
| SDG 12: Hållbar konsumtion och produktion.               | I en värld med absolut behov av att begränsa växthusgaser i atmosfären kommer nyttjande av biomassa i en förbränningsanläggning med CCS vara en mer naturresurseffektiv lösning än samma lösning utan CCS (12.2). Detta är en direkt positiv påverkan. Hantering av utökad användning kemikalier i MEA anläggningen förutsätts ske på miljöriktigt sätt (lagstiftning i Sverige ställer stränga krav). Direkt positivt kring att en anläggningsägare erbjuder energitjänster (el och värme) som kommer ha netto negativa associerade utsläpp till sina kunder. |
| SDG13: Bekämpa klimatförändringarna.                     | Som en direkt effekt fångar anläggningen in koldioxid som annars skulle ha släppts ut till atmosfären. I fallet med bio-CCS kommer koldioxid som infångas och sedan lagras (dvs andra delar av värdekedjan) att tas bort ur biosfärens kolbalans. I referensfallet är balansen neutral (för själva förbränningen). Vissa marginella sker i samband med byggnation och avveckling men mängden är försumbar ur ett livscykelperspektiv.                                                                                                                          |

*Indirekt positiv påverkan*

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt. | Introduktion av CCS i biobränsleeldad anläggning kan långsiktigt bidra till marknadsinnovation och framväxten av nya tjänster, inkl. för export, såsom försäljning av tjänsten borttagning av koldioxid ur atmosfären på marknader (8.2). Detta bygger på |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | prioriteringen kring begränsade utsläpp av växthusgaser i atmosfären.                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 11: Hållbara städer och samhällen. | Koldioxid är inte en luftförorening - dock stimuleras i längden fjärrvärme och annan central uppvärmning med effektivisering och bättre rökgasrening än vad som finns i decentraliserade system.                                                                                      |
| SDG 14: Hav och marina resurser.       | Begränsade utsläpp av CO <sub>2</sub> kommer indirekt ge minskade bidrag till försurning av marina miljöer. Den direkta påverkan är på koldioxid, och indirekt på försurningen som en konsekvens (14.3). Detta är att betrakta som en ganska liten påverkan från själva anläggningen. |

*Direkt negativ påverkan*

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 7: Hållbar energi för alla. | En direkt negativ effekt avseende mängd förnybar energi tillförd. I CCS fallet fås en ytterligare energitjänst men den räknas inte in i målet. Omfattningen beror på ambitionen i infångning (hur många procent som fångas in) och teknikval. Indirekt stimulans för att nya anläggningar byggs med denna teknik - kan vara positiv om förnybar energi är bränsle. Indirekt positiv påverkan på utveckling, internationellt samarbete och innovation inom förnybar och "ren" energiteknik. Noteras att dimensionen klimat inte är med i målet. |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Ingen/försumbar påverkan*

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 1: Ingen fattigdom. | Risker långsiktigt kring exploatering av stora mängder biomassa om de börjar importeras från områden med fattigdoms-, och matproblematik. Detta sker inte idag (i någon större utsträckning) men är kan inte uteslutas i ett scenario med en globalt storskalig ansats med bio-CCS.                                                                                                                  |
| SDG 2: Ingen hunger.    | Risker långsiktigt kring exploatering av stora mängder biomassa om de börjar importeras från områden med fattigdoms-, och matproblematik där ökad efterfrågan på biomassa kan leda till stärkt konkurrens om markarealer som även behövs för livsmedelsproduktion. Detta förhållande gäller inte idag men är inte omöjligt på lång sikt i ett scenario med en globalt storskalig ansats med bio-CCS. |

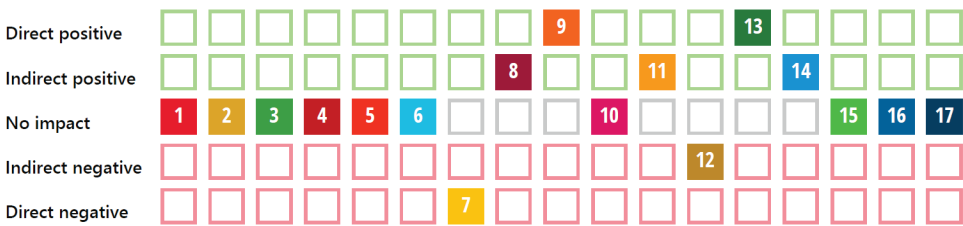
|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 3: Hälsa och välbefinnande.               | Försumbar påverkan. Viss möjlighet till positiv indirekt påverkan/stimulans kring luftföroeningen om centraliserade system med bättre förbränningsanläggningar stimuleras (3.9).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| SDG 4: God utbildning för alla.               | Genomförande av CCS i en biobränsleeldad anläggning kommer inte att få någon påverkan på tillgång till/utbud av/innehåll inom utbildning.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 5: Jämställdhet.                          | Genomförande av CCS i en biobränsleeldad anläggning kommer inte att få någon påverkan på jämlikhetsfrågor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| SDG 6: Rent vatten och sanitet för alla.      | Genomförande av CCS i en biobränsleeldad anläggning kommer inte att få påverkan på tillgången till rent vatten eller avloppsrening etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SDG 10: Minskad ojämlikhet.                   | Introduktion av CCS i biobränsleeldad anläggning ger inga signifikanta, mätbara bidrag till ökad jämlikhet mellan länder.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 15: Ekosystem och biologisk mångfald.     | Värderingen är baserad på ansatsen med referensanläggning relativt bio-CCS anläggning med oförändrad biomassaåtgång. Risker långsiktigt kring exploatering av stora mängder biomassa föreligger i bio-CCS-fallet. Detta förhållande är idag uppmärksammat inom EU och regelverk för att hantera att vissa grundläggande miljökrav finns i produktionen (inkl ursprung) av biobränslen. Biodiversitet i svenska bruksskogar är idag ett ämne för diskussion och inom miljö kvalitetsmål ett. För att hantera minskad el/värmeproduktion finns olika lösningar till åtgärder - som inte alltid inkluderar mer biobränsle. I ett scenario med utbyggnad av bio-CCS (EU och globalt) skapas en betydande risk för direkt negativ påverkan på detta mål. |
| SDG 16: Fredliga och inkluderande samhällen.  | Försumbar/ingen direkt eller indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 17: Genomförande och globalt partnerskap. | Potentiellt en resurs för kunskapsspridning av innovation och tekniska lösningar för att reducera klimatutsläpp. Dock finns det inte som en explicit del i de undersökta fallen. Potentiellt direkt och indirekt positivt (17.7, 17.16 osv).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### 4.3.2 Avskiljning koldioxid: Avfallseldat kraftvärmeverk koldioxidavskiljning och motsvarande referensanläggning utan koldioxidavskiljning

Analysen avser en kraftvärmeanläggning med koldioxidavskiljning relativt motsvarande konventionella kraftvärmeanläggning. I anläggningen med koldioxidavskiljning påverkas el och värmeproduktionen till förmån för energitjänsten koldioxidinfångning. Det kommer således bli ytterligare en energitjänst relativt referensanläggningen.

#### Övergripande beskrivning av påverkan

Figur 7 illustrerar utfallet av hållbarhetsanalysen avseende applicering av koldioxidavskiljning i en avfallseldad kraftvärmeanläggning. Analysen visar på direkt positiv påverkan på hållbarhetsmål 9, 13, indirekt positiv påverkan på hållbarhetsmål 8, 11, 14 och 15, indirekt negativ påverkan på hållbarhetsmål 12 samt direkt negativ påverkan på hållbarhetsmål 7. Bedömningen avseende övriga hållbarhetsmål är att påverkan är försumbar.



Figur 4. Utfall av SDG-analys på steget "Avfallseldat kraftvärmeverk med koldioxidavskiljning" jämfört med motsvarande "Referensanläggning utan koldioxidavskiljning".

#### Direkt positiv påverkan

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur. | I en värld med absolut behov av att begränsa växthusgaser i atmosfären kommer nyttjande av avfall i en förbränningsanläggning med CCS vara en mer naturresurseffektiv lösning och bidrar till installation av miljöriktig teknik än samma lösning utan CCS (9.4). Detta är en direkt positiv påverkan. En indirekt negativ påverkan är att affärsmodellen kan motverka en utveckling mot cirkularitet avseende den fossila fraktionen i avfallet (9.4). Indirekt positiv påverkan kopplad till tekniskutveckling, forskning och innovation inom området av CCS och integrering av CCS i energianläggningar (9.5, 9.B). |
| SDG13: Bekämpa klimatförändringarna.                     | Anläggningen kommer fånga in koldioxid som annars skulle ha släppts ut till atmosfären. Detta är en direkt effekt. För avfallets biogena fraktion infångas och lagras (dvs andra delar av                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | värdekedjan) koldioxid med effekten att den tas bort ur biosfärens kolbalans. I referensfallet är balansen neutral för denna fraktion (för själva förbränningen). För den fossila fraktionen innebär referensfallet att utsläppt koldioxid ger ett nettotillskott av koldioxid och med CCS minskar utsläppen motsvarande infångad koldioxid. Vissa marginella uppstår vid utsläpp under byggnation och avveckling men är försumbart ur ett livscykelperspektiv. |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Indirekt positiv påverkan*

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt. | Introduktion av CCS i waste-to-energy-anläggning kan långsiktigt bidra till marknadsinnovation och framväxt av nya tjänster, inkl för export, såsom försäljning av tjänsten borttagning av koldioxid ur atmosfären på marknader (8.2). Detta bygger på prioriteringen kring begränsade utsläpp av växthusgaser i atmosfären.                                                                      |
| SDG 11: Hållbara städer och samhällen.                  | Koldioxid är inte en luftförorening - dock stimuleras i längden fjärrvärme och annan central uppvärmning med effektivisering och bättre rökgasrening än vad som finns i decentraliserade system (11.6). En indirekt negativ effekt är om waste-to-energy-CCS motverkar cirkulära lösningar avseende den fossila fraktionen i bränslet.                                                            |
| SDG 14: Hav och marina resurser.                        | Begränsade utsläpp av koldioxid kommer indirekt ge minskad bidrag till försurning av våra marina miljöer. Den direkta påverkan är på koldioxid, och indirekt på försurning som en konsekvens (14.3). Möjlig indirekt långsiktig positiv påverkan på nedskräpning av havsmiljö om waste-to-energy-CCS global bidrar till en ökad användning av avfall som energiresurs som alternativ till deponi. |

*Indirekt negativ påverkan*

|                                            |                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 12: Hållbar konsumtion och produktion. | Det finns risk för en indirekt negativ påverkan att tillämpning av waste-to-energy-CCS motverkar materialåtervinning och, därmed, en |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------|
|  | utveckling mot cirkulära materialflöden i samhället (12.2). |
|--|-------------------------------------------------------------|

*Direkt negativ påverkan*

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 7: Hållbar energi för alla. | Direkt negativ effekt avseende mängd förnybar energi tillfört samt energieffektivitet. I CCS-fallet fås en ytterligare energitjänst men den räknas inte in i målet. Omfattningen beror på hur stor andel av koldioxid i rökgaserna som fångas in) och teknikval. Indirekt stimulans för att nya anläggningar byggs med denna teknik - kan vara positiv om förnybar energi är bränsle, men även negativ om nya satsningar med hög andel fossilenergi med CCS görs. Indirekt positiv påverkan på utveckling, internationellt samarbete och innovation inom förnybar och "ren" energiteknik. Noteras är att dimensionen klimat inte är med i målet. |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Ingen/försumbar påverkan*

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 1: Ingen fattigdom.                      | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 2: Ingen hunger.                         | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 3: Hälsa och välbefinnande.              | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 4: God utbildning för alla.              | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 5: Jämställdhet.                         | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 6: Rent vatten och sanitet för alla.     | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 10: Minskad ojämlikhet.                  | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 16: Fredliga och inkluderande samhällen. | Ingen/försumbar direkt/indirekt påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SDG 15: Ekosystem och biologisk mångfald.    | Ingen/försumbar påverkan. Värderingen är baserad på ansatsen med referensanläggning relativt anläggning med CCS med oförändrad bränsletillförsel. I ett scenario med utbyggnad av bio-CCS kan utbyggnad av waste-to-energy-CCS bidra till minskad förbrukning av skogsråvara. Risker långsiktigt kring exploatering av stora mängder biomassa |

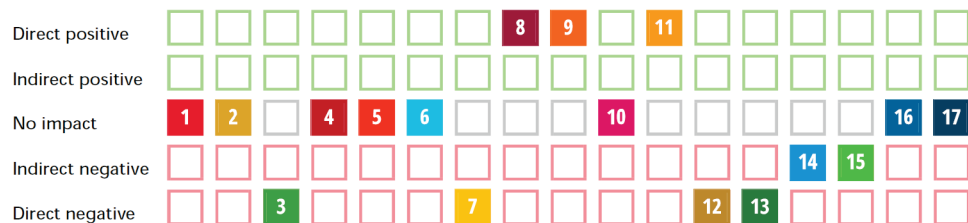
|                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | föreligger och genomförande av waste-to-energy-CCS kan potentiellt ge indirekt bidrag till minskad negativ påverkan på SDG 15.5 som beror på exploatering av biomassa från skogen.                                                           |
| SDG 17: Genomförande och globalt partnerskap. | Potentiellt en resurs för kunskapsspridning av innovation och tekniska lösningar för att reducera klimatutsläpp. Dock finns det inte som en explicit del i de undersökta fallen. Potentiellt direkt och indirekt positivt (17.7, 17.16 osv). |

#### 4.3.3 Transport: Transport av infångad koldioxid

Analysen avser transport av koldioxid i enlighet med beskrivningarna i avsnitt 2.2, 3.2 och 3.5 relativt referensfallet som är ett nollalternativ (dvs ingen koldioxidtransport).

##### Övergripande beskrivning av påverkan

Figur 7 illustrerar utfallet av hållbarhetsanalysen avseende koldioxidtransport jämfört med alternativet där ingen koldioxidinfångning sker och därmed heller inget behov av transporter. Analysen visar på direkt positiv påverkan på hållbarhetsmål 8, 9 och 11, indirekt negativ påverkan på hållbarhetsmål 15 och 15, direkt negativ påverkan på hållbarhetsmål 3, 7, 12 och 13. Bedömningen avseende övriga hållbarhetsmål är att påverkan är försumbar.



Figur 5. Utfall av SDG-analys koldioxidtransport där transport i de olika fallen värderas relativt ett noll-fall där ingen transport krävs (i och med att ingen koldioxid infångas).

##### Direkt positiv påverkan

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt. | Arbetsstillfällen skapas. Ekonomisk verksamhet inom sektor som syftar till att begränsa växthusgasutsläpp är en direkt positiv påverkan (8.1, 8.2) i synnerhet kopplat till en logistikhubb samt fartyg för långväga transport till mottagningscentralen för Northern Lights. Transporter på land med tåg kan bedömas som mer konventionell. Lastbilstransporter kan bedömas som negativt bidrag till hållbara jobb. |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur. | Direkt positiv påverkan i etablering av infrastruktur för att ta emot och transportera infångad koldioxid (9.1, 9.4). Möjliggör för fler aktörer att fånga in och sedan leverera koldioxid för permanent lagring. Utformning av logistikhub och associerad affärsmodell för att möjliggöra att ta emot koldioxid från flera leverantörer avgör hur stor positiv påverkan som fås. Detta är en viktig och central aspekt i hållbarhetsvärderingen. |
| SDG 11: Hållbara städer och samhällen.                   | Direkt positiv påverkan i regional samverkan kring att utveckla en lösning för hantering av infångad koldioxid (11.A). Det är framförallt hubben som är själva nyckeln i detta. Det är affärsdrivna lösningar. Risk kring transportlösningar med ökat transportarbete i bebyggd miljö finns - detta bedöms i andra mål (tex energi, liv på land, hälsa).                                                                                          |

*Indirekt negativ påverkan*

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 14: Hav och marina resurser.          | Utsläpp av koldioxid kommer att bidra indirekt till försurning i havsmiljöer (bidraget är marginellt) (14.3). Transport från hub till Northern Lights ökar trafik på havet, bedöms dock inte påverka något av målen i SDG14 i men generellt bidrar ökade marina transporter till negativ påverkan på havsmiljö och ekosystem. |
| SDG 15: Ekosystem och biologisk mångfald. | Indirekt negativ påverkan i och med ökade transporter och den negativa påverkan detta kan ha på ekosystem på land och i sötvatten. Detta avser luftemissioner, emissioner till sötvattenrecipienter och stress via buller.                                                                                                    |

*Direkt negativ påverkan*

|                                 |                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 3: Hälsa och välbefinnande. | Med ökade transporter fås utsläpp av luftföroreningar (3.9) och ökad risk för trafikolyckor (3.6). Det finns även vissa risker för läckage med vidhängande risker.         |
| SDG 7: Hållbar energi för alla. | Direkt negativ då transporter kommer att inkludera fossila resurser (7.2). I ett scenario med ändrade drivmedel kommer bedömningen påverkas. Även hubben kommer behöva el, |

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | drivmedel osv. med en negativ påverkan på andelar förnybart i primärenergibalanser.                                                                                                                                                                                                |
| SDG 12: Hållbar konsumtion och produktion. | Lastbilstransporter mellan anläggning till mellanlager kan innebära en mindre effektiv naturresursanvändning. Tåg- och fartygslösningar är resurseffektiva (energi/tkm) lösningar. Transport av infångad koldioxid kommer alltid innebära resursanvändning jmf med 0-fallet.       |
| SDG13: Bekämpa klimatförändringarna.       | Direkta utsläpp av växthusgaser längs transportvärdekedjan samt i hub enligt genomförda uppskattningar och jämfört med referensfallet (transport delen). Möjligheter för framtiden att utveckla klimateffektiva transportlösningar för koldioxiden så att låg klimatpåverkan sker. |

*Ingen/försumbar påverkan*

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 1: Ingen fattigdom.                       | Ingen/försumbar påverkan indirekt/direkt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 2: Ingen hunger.                          | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.<br><br>Not: möjligheten att transporten resulterar i ökade volymer biobränslen finns - detta skulle kunna knytas till food/fuel-diskussion. Kopplingen blir dock spekulativ då olika alternativa transportlösningar kan förekomma - det är en fråga om att säkerställa system för begränsad påverkan inom andra sektorer. |
| SDG 4: God utbildning för alla.               | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 5: Jämställdhet.                          | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 6: Rent vatten och sanitet för alla.      | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 10: Minskad ojämlikhet.                   | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 16: Fredliga och inkluderande samhällen.  | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SDG 17: Genomförande och globalt partnerskap. | Potentiellt en resurs för kunskapsspridning av innovation och tekniska lösningar för att reducera klimatutsläpp och då framförallt kopplat till hubben och koldioxidtransport till havs. Dock finns det inte som en explicit del i de                                                                                                                               |

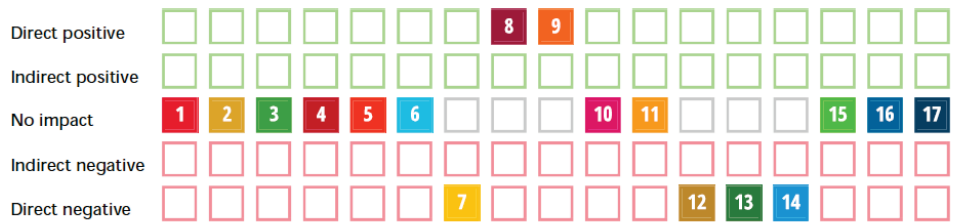
|  |                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------|
|  | undersökta fallen. Potentiellt direkt och indirekt positivt (17.7, 17.16 osv). |
|--|--------------------------------------------------------------------------------|

4.3.4 Lagring: Geologisk lagring av koldioxid

Analysen avser transport från mottagningsterminalen i Öygarden och slutlig geologisk lagring relativt referensfallet som är ett nollalternativ där ingen koldioxid infångas och därmed inget behov att lagra denna.

Övergripande beskrivning av påverkan

Figur 9 illustrerar utfallet av hållbarhetsanalysen avseende koldioxidlagring. Analysen visar på direkt positiv påverkan på hållbarhetsmål 8 och 9, direkt negativ påverkan på hållbarhetsmål 7, 12, 13 och 14. Bedömningen avseende övriga hållbarhetsmål är att påverkan är försumbar.



Figur 6. Utfall av SDG-analys koldioxidlagring för den infångade koldioxiden från anläggning med avskiljning koldioxid relativt ett fall med anläggning utan koldioxidavskiljning och därmed inget behov för lagring.

Direkt positiv påverkan

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt.  | Arbetsstillfällen/ekonomisk verksamhet inom sektor som syftar till att begränsa växthusgasutsläpp är en direkt positiv påverkan (8.1, 8.2). Northern Lights och infrastruktur för lagring är en del av ett samhällsbygge för att hantera och begränsa utsläppen av växthusgaser. De är en förutsättning för detta.                                       |
| SDG 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur. | Direkt positiv påverkan i att etablera infrastruktur för att ta emot och transportera infångad koldioxid (9.1, 9.4). Möjliggör för fler aktörer att fånga in och sedan leverera koldioxid för permanent lagring. Anläggningens utformning/affärsmodell i avseende att ta emot koldioxid från flera leverantörer avgör hur stor positiv påverkan som fås. |

*Direkt negativ påverkan*

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 7: Hållbar energi för alla.            | Direkt negativ då industriell verksamhet kommer att behöva energi och sannolikt fossila resurser konsumeras (7.2). Anläggningens olika delar kommer behöva el, drivmedel osv. med en negativ påverkan på andelar förnybart i primärenergibalanser. Om anläggningen drivs helt med förnybar energi skulle bedömningen se annorlunda ut.                                                                                                                           |
| SDG 12: Hållbar konsumtion och produktion. | Lösning för lagring av koldioxid innebär ökad naturresursanvändning jämfört med 0-fallet (12.2). Detta är en direkt negativ påverkan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| SDG13: Bekämpa klimatförändringarna.       | Verksamheten leder till utsläpp av växthusgaser jämfört med referensfallet.<br><br>Not: Risk för framtida läckage från koldioxidlagret ingår inte de nämnda växthusgasutsläppen. EU:s CCS-direktiv reglerar frågor om riskbedömning och långsiktigt ansvar. Koldioxid som lagras mineraliseras så att risk för gas läckage minskar med tiden.                                                                                                                    |
| SDG 14: Hav och marina resurser.           | Direkt negativ påverkan i form av risk för nedskräpning och påverkan på ekosystem (14.1, 14.2). Möjlighet att ekosystem kan få stärkt skydd i och med att anläggningen kan komma att kräva fiskestopp och liknande kring installationerna vilket skulle vara en positiv påverkan relativt noll-fallet där inget fredande finns. Buller och liknande under konstruktion ger påverkan. Utformning och genomförande kommer avgöra hur omfattande denna påverkan är. |

*Ingen/försumbar påverkan*

|                                 |                                           |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| SDG 1: Ingen fattigdom.         | Ingen/försumbar påverkan indirekt/direkt. |
| SDG 2: Ingen hunger.            | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt. |
| SDG 3: Hälsa och välbefinnande. | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt. |
| SDG 4: God utbildning för alla. | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt. |
| SDG 5: Jämställdhet.            | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt. |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG 6: Rent vatten och sanitet för alla.      | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 10: Minskad ojämlikhet.                   | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 11: Hållbara städer och samhällen.        | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 15: Ekosystem och biologisk mångfald.     | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 16: Fredliga och inkluderande samhällen.  | Ingen/försumbar påverkan direkt/indirekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SDG 17: Genomförande och globalt partnerskap. | <p>Potentiellt en resurs för kunskapsspridning av innovation och tekniska lösningar för att reducera klimatutsläpp och då framförallt kopplat till hubben och koldioxidtransport till havs. Dock finns det inte som en explicit del i de undersökta fallen. Potentiellt direkt och indirekt positivt (17.7, 17.16 osv).</p> <p>Lagringsverksamhet i Sleipnerfältet har givit stora bidrag till kunskapsläget och erfarenheter kring koldioxidlagring.</p> |

## 5 Sammanfattning av resultat och diskussion

Sverige har som mål att nå nettonoll växthusgasutsläpp 2045 och negativa utsläpp därefter. Nettonollutsläpp på global nivå förutsätter en balans mellan utsläpp och upptag av växthusgaser och globalt nettonegativa utsläpp kräver att de globala upptagen överstiger de globala utsläppen. På nationell nivå kan nettonollutsläpp uppnås genom en balans mellan territoriella utsläpp och upptag och det finns även en möjlighet att hävda nettonollutsläpp helt eller delvis baserat på balansering av egna territoriella utsläpp genom bidrag till växthusgasminskningar (begreppet omfattar här både minskade utsläpp av växthusgaser och borttagning av koldioxid ur atmosfären följt av varaktig lagring) i andra länder.<sup>32</sup> Det kommer troligen finnas kvar utsläpp av växthusgaser i Sverige som är svåra att åtgärda till målåret 2045 och därmed ett behov att balansera dessa via negativa utsläpp. Sveriges strategi för att uppnå sådan balansering och därmed möjliggöra nettonollutsläpp håller öppet för både åtgärder som leder till ökade territoriella borttag av koldioxid ur atmosfären och bidrag till växthusgasminskningar i andra länder.

De negativa utsläpp som avskiljning och permanent lagring tillämpat på koldioxid av biogent ursprung har potential att generera har en betydelsefull roll i Sveriges strategi för att uppnå nettonollutsläpp. Med antagande om att biobränsle ger ett netto noll bidrag till koldioxidbalansen i atmosfären skulle infångning av den uppkomna koldioxiden kunna resultera i negativa utsläpp på mellan 3-10 miljoner ton CO<sub>2e</sub> 2045.<sup>33</sup>

Den här studien är en hållbarhetsbedömning av hela värdekedjan från avskiljning och transport till lagring av koldioxid för en antagen anläggning med respektive utan koldioxidinfångning. Utgångspunkten bygger på energi- och växthusgasbalanser. Applikationer där biogen koldioxid avskiljs har varierats och olika sammansatta transportlösningar har studerats. I studien har systemens hållbarhetspåverkan analyserats med utgångspunkt i FN:s 17 hållbarhetsmål (SDG) genomförts.

Analysen avseende påverkan på hållbarhetsmålen betraktar hur olika påverkan sker mellan det tänkta scenariot med en koldioxidinfångning på ett kraftvärmeverk jämfört med ett referensscenario där ingen koldioxidinfångning sker på samma anläggning.

Här nedan diskuteras slutsatser som kan dras baserat på analysen och implikationer av dessa ur ett hållbarhetsperspektiv.

### 5.1 KRAFTVÄRMEANLÄGGNING

Genomförande av CCS i kraftvärmeanläggningar innebär relativt referensfallet att koldioxid fångas in som annars hade släppts ut i atmosfären. För biogen koldioxid medför detta att den tas bort ur biosfärens kretslopp. Detta ger direkt positiv påverkan framförallt på hållbarhetsmål 13 - *Bekämpa klimatförändringarna* genom att

<sup>32</sup> Miljö- och energidepartementet, Kompletterande åtgärder för att nå negativa utsläpp av växthusgaser (2018).

<sup>33</sup> Statens offentliga utredningar, Vägen till en klimatpositiv framtid (2020).

bidra till att begränsa halten av koldioxid i atmosfären och bidra till införandet av teknik som är nödvändig i en värld med stränga växthusgasrestriktioner. Detta positiva bidrag till hållbarhetsagendan är själva drivkraften för investeringen. Infångningen av koldioxid kräver en rad efterföljande steg för att resultatet skall bli en netto påverkan på mängden växthusgaser i biosfären. En förutsättning är även att den infångade koldioxiden de facto kommer långtidsförvaras – infångningen i sig är endast det första steget i en kedja. Ett argument av infångad koldioxid mot kunder och liknande torde kräva att man har stöd för påståendet från aktören som lagrar koldioxiden.

Ytterligare en tydlig direkt positiv påverkan fås på hållbarhetsmålen 9 - *Hållbar industri, innovationer och infrastruktur* och bidra till införandet av teknik som är nödvändig i en värld med stränga växthusgasrestriktioner.

En direkt negativ påverkan uppstår i relation till hållbarhetsmål 7 – *Hållbar energi för alla* på grund av den reducerade mängd förnybar värme och/eller el som koldioxidavskiljningen resulterar i. Utveckling och kommersialisering av nya tekniker för koldioxidavskiljning har potential att, i vissa fall radikalt, bidra till minskade energiförluster<sup>34</sup> och därmed reducera påverkan på hållbarhetsmålet. För de fall när den levererade mängden energi till samhället förblir relativt oförändrad, men det sker på bekostnad av ett relativt sett större elbortfall, kan en diskussion om energikvalitet föras. Hållbarhetsmålet gör dock ingen direkt åtskillnad mellan olika energibärare. En annan aspekt som inte har tagits upp i analysen är frågor kopplade till effektbehov/-begränsningar. Införande av CCS i kraftvärmeanläggningar kan potentiellt leda till begränsningar avseende förmågan att stötta elsystemet med effektereglerings kapacitet.<sup>35</sup>

Resonemangen ovan för biobränsleeldade anläggningar gäller i stort även för avfallseldade anläggningar. En skillnad avseende hållbarhetsmål 13 – *Bekämpa klimatförändringarna* är att bidraget till negativa utsläpp blir mindre påtagligt eftersom bränslet består av en biogen och en fossil fraktion. En risk för en indirekt negativ påverkan föreligger i relation till hållbarhetsmål 12 – *Hållbar konsumtion och produktion* om ökad användning av avfalls-CCS motverka en utveckling mot cirkularitet avseende den fossila fraktionen i avfall

## 5.2 KOLDIOXIDTRANSPORT

I princip kommer transportarbete och hantering av infångad koldioxid krävas för att ta den från anläggningen till plats där slutförvar kommer ske. I referensfallet, ingen infångning, finns inget behov av detta arbete eller infrastruktur. Ett underliggande antagande i denna analys är att infångning av koldioxid är något som svenska aktörer kommer behöva göra och planerar att investera i.<sup>36</sup> Detta skapar behov av infrastruktur och effektiva lösningar i arbetet med att strategiskt bygga den vision om hållbart energisystem som sektorn formulerat.

<sup>34</sup> IEAGHG, Further assessment of CO2 capture technologies for the power sector and their potential to reduce costs (2019).

<sup>35</sup> Johanna Beiron, et al., Bio-CCS i fjärrvärmesektorn (2021).

<sup>36</sup> Fossilfritt Sverige, Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Uppvärmningsbranschen (2018).

Direkt positiv påverkan fås på hållbarhets mål 8 - *Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt* genom att arbetstillfällena och delvis nya verksamheter (tex logistikcentra/"hubbar") skapas samt 9 - *Hållbar industri, innovationer och infrastruktur*, och 11 - *Hållbara städer och samhällen* genom att utveckling av system för koldioxidtransporter skapar förutsättningar för minskade koldioxidutsläpp genom CCS, inklusive möjligheten att bidra till negativa utsläpp. Lösningar som bidrar till en möjlig optimering av koldioxidlogistiken, med inslag som regionala hubbar, ger har potential att ge särskilt påtagliga bidrag till dessa tre hållbarhetsmål. Statlig och multilateral koordinering kan spela en viktig roll för att tillvarata potentialen i detta.<sup>37</sup>

Direkt negativ påverkan på hållbarhetsmålen 3 - *Hälsa och välbefinnande* - 7: *Hållbar energi för alla*, 12 - *Hållbar konsumtion och produktion* och 13 - *Bekämpa klimatförändringarna* vilka alla framförallt är kopplade till det ökade trafikarbete som kommer att krävas för transporterna. Påverkan från vägbaserade transporter är tydligast då energieffektiviteten är låg och påverkan sker i flera dimensioner, inklusive risk för trafikolyckor, resurseffektivitet och klimatpåverkande utsläpp. Järnväg och fartygstransporter är jämförelsevis energieffektiva. I bedömningen har antagits att fartyg använder diesel som drivmedel. Det finns en väsentlig potential att minska fartygstransporternas bidrag till koldioxidutsläpp om fossilbaserad diesel ersätts med alternativa bränslen.<sup>38</sup> Exempelvis har det uppskattats att en övergång från diesel till LNG som fartygsbränsle kan reducera växthusgasutsläppen med 10 – 27 procent om metanutsläpp i samband med utvinning och vidare hantering av naturgas tas med i beräkningarna. Med introduktion av förnybara fartygsbränslen skulle emissionerna av koldioxid från fossila resurser reduceras ytterligare.

### 5.3 GEOLOGISK LAGRING AV KOLDIOXID

Enligt analysen uppstår direkt positiv påverkan på hållbarhetsmål 8 - *Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt* och 9 - *Hållbar industri, innovationer och infrastruktur* genom att arbetstillfällena och nya verksamheter skapas. Etableringen av koldioxidlager möjliggör för fler aktörer att fånga in och sedan leverera koldioxid för permanent lagring. Anläggningens utformning/affärsmodell i avseende att ta emot koldioxid från flera leverantörer avgör hur stor positiv påverkan som fås.

Koldioxidlagring bedöms ha en direkt negativ påverkan på hållbarhetsmål 7 - *Hållbar energi för alla*, 12 - *Hållbar konsumtion och produktion*, 13 - *Bekämpa klimatförändringarna* och 14 - *Hav och marina resurser*. Den negativa påverkan är dels kopplad till ett ökat energibehov som kan förväntas leda till konsumtion av fossila energikällor i någon utsträckning, dels en ökad naturresursanvändning. Livscykelanalyser visar dock att denna påverkan är begränsad. Viss direkt negativ påverkan i form av påverkan på marina ekosystem kan också förväntas (14.1, 14.2).

<sup>37</sup> Kenneth Möllersten, et al., Policies for the promotion of BECCS in the Nordic countries, Nordic Council of Ministers (2021).

<sup>38</sup> Al Baroudi, 2021; <https://www.reuters.com/article/yara-esg-idUSKBN28H1FM>

Risk för framtida läckage från koldioxidlagret behöver hanteras genom en grundlig riskhanteringsstrategi i samband med urval av lagringsplats, under lagrets operativa fas samt efter stängning. Risken för läckage minskar med tiden bland annat till följd av mineralisering av lagrad koldioxid.

#### 5.4 DISKUSSION HÅLLBARHETSANALYS

Analysen har visat att avskiljning, transport och lagring av koldioxid i anslutning till biobränsle- och avfallseldade kraftvärmeanläggningar kan bidra till tydligt negativa utsläpp sammantaget för hela värdekedjan och därmed ett tydligt bidrag till att bekämpa klimatförändringarna. Samtidigt som koldioxid från förbränningen av bränsle fångas in och lagras, uppstår annan påverkan inom en rad hållbarhetsaspekter. Detta är både positiv påverkan som jobbskapande och anpassning av samhället i en riktning mot lägre klimatpåverkan, men även negativ påverkan på ekosystem samt även utsläpp av växthusgaser vid transporter och annan verksamhet.

En konventionell kraftvärmeanläggning idag producerar *el och värme som energitjänster*. I en kraftvärmeanläggning med CCS kommer även *energitjänsten koldioxidinfångning* läggas till el- och värmestjänsterna. Tillägget med koldioxidinfångning som energitjänst kommer reducera mängderna el och i många fall värme som energitjänster ut från kraftvärmeanläggningen med CCS jämfört med samma anläggning utan CCS. Detta är en naturlig konsekvens och energitjänsten koldioxidinfångning blir en ny ”produkt” som ingår i arbetet för att nå samhällsmål om minskade klimatutsläpp. Svenska staten förbereder i skrivande stund även ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor som kopplas till detta.<sup>39</sup>

I denna studie undersöks en värdekedja för koldioxidinfångning och fokus ligger på just hållbarhetspåverkan kring en sådan förutsatt nationella strategier avseende mål om nettonollutsläpp av växthusgaser samt fjärrvärmesektorns vision om ett hållbart energisystem och hur man kan bidra till det nationella målet. På ett systemplan kommer introduktionen av koldioxidinfångning att skapa en rad klimatnyttor, men samtidigt minska produktionen av värme och/eller el.

Samhället kan på sikt möta utmaningen med minskad produktion av el- och värme från kraftvärmeanläggningar i tillförselledet med ökad energieffektivisering i användarledet. Det finns exempelvis en signifikant potential att reducera värmebehovet i fastigheter. Sådana effektiviseringsåtgärder vore i linje med EU:s princip ”energy efficiency first” som utgör en hörnsten i EU:s strategi för minskad växthusgasintensitet.<sup>40</sup>

I ett kortare tidsperspektiv kan ökad tillförsel av hållbar energi i olika former, som kompenserar för energiförlusterna, bidra till minskad påverkan på hållbarhetsmål 7. Till exempel kan kompletterande tillförselsystem baserade på förnybara

<sup>39</sup> Energimyndigheten, Första, andra, tredje – Förslag på utformning av ett stödsystem för Bio-CCS (2021).

<sup>40</sup> [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first_en)

energikällor införs i fjärrvärmenäten (t.ex. solvärmesystem med säsongslagring) och genom en ökad biobränsletillförsel till kraftvärmeverken kan levererad värmemängd bibehållas. Det senare behöver dock ställas i relation till pågående diskussioner om skogen som råvarubas och å andra sidan som naturmiljö och källa till olika ekosystemtjänster till nytta för samhället. Studier av potentialer och möjliga utvecklingar inom olika energi- och industrisektorer visar att efterfrågan på skogsbaserad biomassa i Sverige kan öka betydligt. Flera av de svenska miljökvalitetsmålen är relevanta för biobränslen från skogen. Uppföljningen av de svenska miljökvalitetsmålen indikerar att målet med levande skogar är svårt att följa upp men ökade uttag av biomassa, under rådande förvaltning, bidrar till ökad försurning, kvicksilverutlakning, och påverkan på biodiversitet. Utvecklingen på lång sikt och påverkan på hållbarhetsmål 15 - *Ekosystem och biologisk mångfald* kommer till stor del bero på hur efterfrågan på biomassa totalt sett, för alla sektorer, kommer utvecklas i Sverige, EU och globalt.<sup>41</sup>

Resultaten i denna studie visar på att hållbarhetsbedömningen för CCS-lösningen till stor del bygger på underliggande antaganden kring vad som krävs för att uppfylla klimatmål. I resultaten här fås direkt positiva resultat i avseende på hållbarhetsmål kring samhällsbygge och industriutveckling. Detta beror på att bakomliggande antagande om nödvändigheten att etablera permanenta negativa utsläpp, och CCS är den enda åtgärden idag i Sverige som snabbt kan få detta till stånd. Samtidigt visar detta hur CCS inte är en aktivitet som är enbart en enskild sektors angelägenhet utan inbegriper ett samhällsbygge med en lång rad aktörer och intressen. Till detta kan även läggas att detta inte är en lösning som hanteras inom Sveriges gränser – utan den infångade koldioxiden exporteras för att hanteras i annat land. Sverige har ingen egen kapacitet att ta hand om slutförvaringen av koldioxiden i dagsläget. Som en konsekvens kommer det behövas ett förtroende för lösningen hos allmänhet och en bred grupp av intressenter i Sverige och utomlands både på lång och kort sikt.

---

<sup>41</sup> Julia Hansson, Mathias Gustavsson, Hållbarhetsperspektiv på fasta biobränslen, NEPP (2020).

## Referenslista

- Al Baroudi, H., Awoyomi, A., Patchigolla, K., Jonnalagadda, K., & Anthony, E. (2021). A review of large-scale CO<sub>2</sub> shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation, and storage. *Applied Energy*. doi:10.1016/j.apenergy.2021.116510
- Arachchige, U. M. (2013). Alternative solvents for post combustion carbon capture. . *Int. J. Energy Environ.*, 4, 441–448.
- Beiron, J., Svanber Frisinger, M., Holm, J., Johnsson, F., Unger, T., & Wolf, J. (2021). *Bio-CCS i fjärrvärmesektorn - Teknik, systemintegration och kostnader*. Energiforsk.
- Bennett, J., Melara, J., Colosi, L., & Clarens, A. (2019). Life cycle analysis of power cycle configurations in bioenergy with carbon capture and storage. *Procedia CIRP*, 340-345.
- Bui, M., Adjiman, C., Bardow, A., Anthony, E., Boston, A., Brown, S., . . . Mac Dowell, N. (2018). Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy and environmental science*, 11, 1062-1176.
- Chu, B., Chang, D., & Chung, H. (2012). Optimum liquefaction fraction for boil-off gas reliquefaction system of semi-pressurized liquid CO<sub>2</sub> carriers based on economic evaluation. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 10, 46-55.
- Cuellar-Franca, R., & Azapagic, A. (2015). Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 9, 82-102.
- Energimyndigheten. (2021). *Första, andra, tredje*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Eriksson, M., Ahlbäck, A., Silow, N., & Svane, M. (2020). *SDG Impact Assessment Tool. GUIDE 1.0.*. Gothenburg: Gothenburg Centre for Sustainable Development at Chalmers University of Technology & University of Gothenburg/Sustainable Development Solutions Network (SDSN).
- Eriksson, M., Ahlbäck, A., Silow, N., & Svane, N. (2020). *SDG Impact Assessment Tool. Guide 1.0*. Gothenburg center for sustainable development.
- Fossilfritt Sverige. (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - Uppvärmningsbranschen*. Fossilfritt Sverige.
- Gassnova. (2019). *Full chain CO<sub>2</sub> footprint*. Gassnova.
- Global CCS Institute. (den 21 09 2021). Hämtat från [https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet\\_Transporting-CO2-1.pdf](https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Transporting-CO2-1.pdf)
- Global CCS Institute. (2021). *Carbon removal with CCS technologies*. Global CCS Institute.
- Global CCS Institute. (2021). *Technology readiness and costs of CCS*. Global CCS Institute.
- Gustafsson, K., Sadegh-Vziri, R., Grönqvist, S., Levihn, S., & Sundberg, C. (2021). BECCS with combined heat and power: assessing the energy penalty. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 108.
- Hagberg, M., Gode, J., Lätt, A., Ekvall, T., Adolfsson, I., & Martinsson, F. (2017). *Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2)*. IVL Svenska miljöinstitutet.
- Hansson, J., & Gustavsson, M. (2020). *Hållbarhetsperspektiv på fasta biobränslen*. NEPP.
- IEAGHG. (2010). *Environmental evaluation of CCS using Life Cycle Assessment (LCA)*. IEAGHG.
- IEAGHG. (2019). *Further assessment of CO<sub>2</sub> capture technologies for the power sector and their potential to reduce costs*. Cheltenham, UK: IEAGHG.

- IEAGHG. (den 21 09 2021). Hämtat från [https://ieaghg.org/docs/General\\_Docs/IEAGHG\\_Presentations/3.\\_CO2\\_Transport\\_Overview\\_-\\_S.\\_Santos\\_IEAGHG.pdf](https://ieaghg.org/docs/General_Docs/IEAGHG_Presentations/3._CO2_Transport_Overview_-_S._Santos_IEAGHG.pdf)
- International Energy Agency. (2020). *Energy technology perspectives 2020 - Special report on carbon capture, utilisation and storage*. International Energy Agency.
- IPCC. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jeon, S., Choi, Y., & Kim, M. (2016). Review on Boil-Off Gas (BOG) Re-Liquefaction System of Liquefied CO<sub>2</sub> Transport Ship for Carbon Capture and Sequestration (CCS). *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 1-10.
- Miljö- och energidepartementet. (2018). *Kompletterande åtgärder för att nå negativa utsläpp av växthusgaser*. Miljö- och energidepartementet.
- Möllersten, K., Yan, J., & Moreira, J. (2003). Potential market niches for biomass energy with CO<sub>2</sub> capture and storage—opportunities for energy supply with negative CO<sub>2</sub> emissions. *Biomass and bioenergy*, 273-285.
- Möllersten, K., Zetterberg, L., Nielsen, T., Torvanger, A., Siikavirta, H., Kujanpää, L., & Hannula, I. (2021). *Policies for the promotion of BECCS in the Nordic countries*. Nordic Council of Ministers.
- Naturvårdsverket. (2020). *Utdrag ur utsläppsregistret*. Hämtat från <https://utslappsisiffror.naturvardsverket.se/sv/Sok/>
- Roussanaly, S., Skaugen, G., Aasen, A., Jokobsen, J., & Vesely, L. (2017). Techno-economic evaluation of CO<sub>2</sub> transport from a lignite-fired IGCC plant in the Czech Republic. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 235-50.
- Sandgren, A., & Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. SMED.
- Statens offentliga utredningar. (2020). *Vägen till en klimatpositiv framtid*. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- United Nations. (den 30 10 2021). Hämtat från <https://sdgs.un.org/>
- Vattenfall. (2020). *The role of BioCCS in achieving negative carbon dioxide emissions in Uppsala. Project final report*.
- Vierth, I., & Mellin, A. (2008). *Svensk godsstudie baserad på nationell och internationell litteratur*. VTI.

# HÅLLBARHETSBEDÖMNING AV BIO-CCS I FJÄRRVÄRMESEKTORN

En hållbarhetsanalys har genomförts på en anläggning baserat på antagandet att bio-CCS utgör en central komponent i en svensk strategi för att klara det svenska klimatpolitiska målet nettonollutsläpp 2045 och därefter negativa utsläpp.

Tekniken kan bidra till tydligt negativa utsläpp av växthusgaser sammantaget för hela värdekedjan och därmed ge ett betydande bidrag för att bekämpa klimatförändringarna. Samtidigt som koldioxid från förbränningen av bränsle fångas in och lagras, uppstår annan påverkan inom en rad hållbarhetsaspekter. Det handlar både om positiv påverkan som jobbskapande och en anpassning av samhället mot lägre klimatpåverkan. Men påverkan är också negativ på ekosystemet och leder till utsläpp i samband med transporter och annan verksamhet. Tillägget med koldioxidinfångning som energitjänst kommer att minska mängderna el och i många fall värme som energitjänster ut från kraftvärmeanläggningen med CCS jämfört med samma anläggning utan CCS. Det leder till en negativ påverkan på hållbarhetsmålet Hållbar energi för alla samtidigt som energitjänsten koldioxidinfångning blir en ny produkt som ingår i arbetet för att nå målet om minskade klimatutsläpp. Resultaten visar att bio-CCS inte är enbart en enskild sektors angelägenhet utan att tekniken omfattar ett samhällsbygge med en lång rad aktörer och intressen.

## 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](http://www.energiforsk.se)



Energiforsk