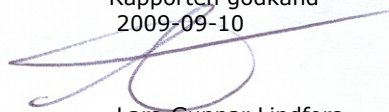


# Systemanalys av CCS vid kraftvärme

Jenny Gode Linus Hagberg  
B1870  
November 2008

Rapporten godkänd  
2009-09-10



Lars-Gunnar Lindfors  
Forskningschef

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 21060 100 31 Stockholm	<b>Projekttitel</b> Systemanalys av CCS vid kraftvärme
<b>Telefonnr</b> 08-598 563 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> Fortum Värme samägt med Stockholms stad samt Naturvårdsverket och Formas via Stiftelsen IVL.
<b>Rapportförfattare</b> Jenny Gode, Linus Hagberg	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Systemanalys av CCS vid kraftvärme	
<b>Sammanfattning</b> Betydelsen ur koldioxidsynpunkt av att avskilja koldioxid vid kraftvärme jämfört med kondens samt vid anläggningar nära eller långt från lagringsplats har översiktligt studerats med hjälp av fallstudier. Analyserna har gjorts genom att jämföra ett system med ett kraftvärmeverk och ett kondenskraftverk som tillsammans ska generera samma mängd el och värme i samtliga ovanstående fall, dvs. både då ingen av anläggningarna har CCS och då antingen den ena eller andra förses med CCS.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> CCS, kraftvärme, systemanalys, koldioxid	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B1870	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## Sammanfattning

Betydelsen ur koldioxidsynpunkt av att avskilja koldioxid vid kraftvärme jämfört med kondens samt vid anläggningar nära eller långt från lagringsplats har översiktligt studerats med hjälp av fallstudier. De huvudfall som studerats och jämförts framgår av Tabell S 1.

Tabell S 1. Huvudfall som studerats i projektet.

Fall	Kraftvärmeverket	Kondenskraftverket
Referensfallet	Utan CCS	Utan CCS
Fall 1	Med CCS	Utan CCS
Fall 2	Utan CCS	Med CCS

Fall 1 och 2 ovan har dessutom båda varierats till totalt 11 scenarier (referensfallet, fyra variationer av fall 1 och sex variationer av fall 2). Utöver detta har en del känslighetsanalyser även gjorts. Inverkan på resultaten av bl.a. följande faktorer har analyserats: olika metod för miljövärdering av el och värme, allokeringsmetoder vid kraftvärme, om hänsyn tas till systemeffekter<sup>1</sup> eller om endast den enskilda anläggningen studeras, emissioner orsakade av transport och komprimering, olika transportavstånd, storlek på anläggningarna och om CCS installeras vid befintlig eller ny anläggning.

Analyserna har gjorts genom att jämföra ett system med ett kraftvärmeverk och ett kondenskraftverk som tillsammans ska generera samma mängd el och värme i samtliga ovanstående fall, dvs. både då ingen av anläggningarna har CCS och då antingen den ena eller andra förses med CCS. Dessutom har båda anläggningarna antagits producera samma mängd el. För att åstadkomma detta har kondensanläggningen, som främst baseras på litteraturdata, skalats ned till ungefär en tredjedel i storlek jämfört med litteraturdata. Indata för beräkningarna har erhållits från litteraturen, egna antaganden och från data över Fortum Värmes koleldade kraftvärmeverk (Värtaverket) i Stockholm.

Fallen enligt ovan har jämförts med avseende på totala utsläpp, emissioner per producerad nytthet samt undvikt mängd koldioxid per producerad nytthet. Resultaten visar att det är svårt att jämföra nyttan av att installera CCS vid olika anläggningar där den ena enbart producerar el medan den andra producerar både el och värme. Vi har dragit slutsatsen att den mest rättvisande bilden av vilken klimateffekt införandet av CCS har då kraftvärme och kondenskraft skall jämföras är att titta på hur de totala emissionerna förändras för ett helt system, men där samma mängd nyttig energi produceras (i detta fall ett kraftvärmeverk och ett kondenskraftverk). Detta illustreras i två figurer i rapporten (Figur 3 och Figur 5).

Vid analyser likt de som genomförts i projektet måste hänsyn tas till att beräkningsförutsättningar och metodval starkt påverkar resultaten. Av det skälet har så mycket som 11 olika scenarier och ytterligare ett antal känslighetsanalyser jämförts. Resultaten har visat att bl.a. följande faktorer har avgörande inverkan på resultaten: val av fallstudieobjekt, elverkningsgrad, avskiljningsgrad, anläggningarnas storlek, allokering vid kraftvärme, värdering av värmen vid kraftvärme, miljövärderingen av el och värme, lokalisering samt typ av anläggning (ny eller befintlig).

<sup>1</sup> Med systemeffekter avses t.ex. om hänsyn tas till att elproduktionen minskar vid CCS och att detta elbortfall måste ersättas med annan produktion.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
1 Inledning.....	3
1.1 Syfte.....	3
1.2 Avgränsningar/osäkerheter.....	3
1.3 Metodik.....	4
1.3.1 Fall som studerats.....	4
1.3.2 Kompensation av elbortfall och ökad värmeproduktion vid CCS.....	7
1.3.3 Placering av anläggningarna i förhållande till lagringsplats.....	7
1.3.4 Komprimering och transport av koldioxid.....	7
1.3.5 Indata.....	8
1.3.6 Känslighetsanalyser.....	9
1.3.7 Jämförelser.....	9
2 Resultat och diskussion.....	10
2.1 Referens- och fallstudieanläggningar.....	10
2.2 Kompression och transport av koldioxid.....	10
2.3 Totala emissioner.....	11
2.4 Emissioner per producerad nyttighet.....	12
2.5 Förändring av verkningsgrader vid CCS.....	14
3 Känslighetsanalyser.....	15
3.1 Totala emissioner för systemet vid fullskalig kondenskraftanläggning.....	15
3.2 Undvikta emissioner per producerad nyttighet.....	16
3.3 Totala emissioner vid olika transportavstånd.....	17
3.4 Beräkningar baserat på ett nytt kondenskraftverk med högre elverkningsgrad.....	18
4 Slutsatser.....	20
5 Referenser.....	22
5.1 Litteraturrekommendationer.....	22

# 1 Inledning

Avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) är en lovande teknik för att reducera koldioxidutsläpp från fossileldade stationära energianläggningar. Tekniken har även potential att användas för avskiljning av koldioxid från bibränsleeldade kraftvärmeverk (benämns BECCS) och därmed bidra till en nettosänka av koldioxidutsläppen. Detta projekt fokuserar dock på avskiljning av koldioxid från ett koleldat kraftvärmeverk. Nyttan med CCS ur miljö- och klimatsynpunkt måste alltid utvärderas ur ett systemperspektiv där hänsyn tas till faktorer såsom ökat bränslebehov, sänkt totalverkningsgrad, transport och lagring, kostnad och hur det elbortfall som blir resultatet av avskiljningsprocessen kan ersättas. Bakgrunden till elbortfallet är att energi krävs för avskiljningen och den komprimering som behövs för transport av koldioxiden. Med elbortfall avser vi i denna rapport att nettoelproduktionen minskar vid CCS, vilket dels kan bero på att avskiljningen i sig ger försämrade förutsättningar för elproduktion, dels att det interna elbehovet kan öka, t.ex. för komprimering av koldioxid. När CCS installeras vid kraftvärme kan dock delar av elbortfallet återvinnas som värme, vilket vid konstant värmeunderlag kommer att tränga undan det bränsle/energislut som ligger över i varaktighetsdiagrammet (dvs. har högre rörliga kostnader).

## 1.1 Syfte

Syftet med studien är att göra en övergripande systemanalys över vad avskiljning av koldioxid vid ett svenskt eller finskt koleldat kraftvärmeverk innebär för energibalans och klimat i jämförelse med ett kondenskraftverk i norra Europa. Studien har genomförts dels som en fallstudie över Fortum Värme kraftvärmeverk i Värtan, Stockholm, dels som en generell analys av CCS vid kraftvärme i Skandinavien (vid lokalisering som kräver fartygstransport till lagringsplatsen). En viktig målsättning har också varit att belysa olika parametrar som har betydelse för resultaten vid jämförelse av CCS vid olika anläggningstyper och lokaliseringar.

## 1.2 Avgränsningar/osäkerheter

Projektet har varit en förstudie för att belysa systemaspekter kopplat till CCS vid olika anläggningar. Det har därför varit nödvändigt att göra avgränsningar, däribland följande:

- Arbetet är en förstudie där viktiga systemaspekter berörs översiktligt
- Olika sätt att se på miljövärdering av el diskuteras inte, utan vi har valt två helt olika emissionsfaktorer för elen, se vidare i metodavsnittet.
- Endast kol som bränsle har studerats i detta projekt.
- För att erhålla jämförbarhet mellan de anläggningar med kraftvärme respektive kolkondens som studeras, har kolkondensanläggning i huvudfallen skalats ned för att generera samma mängd el som kraftvärmeverket. Känslighetsanalys med storskalig kolkondensanläggning görs även.

- Vi beaktar inte att CO<sub>2</sub>-utsläpp från de studerade anläggningarna ingår i handeln med utsläppsrätter, utan bedömer reduktionerna som ”verkliga”<sup>2</sup>.
- Jämförelserna baserar sig på typanläggningar som valts ut för att vara så likvärdiga som möjligt. I känslighetsanalysen har endast översiktligt analyserats hur resultatet påverkas av anläggningarnas egenskaper såsom elverkningsgrad, avskiljningsgrad mm.
- Endast båttransport av avskild CO<sub>2</sub> har analyserats. Inga beräkningar med transport i rörledningar har gjorts.

Det bör även påpekas att resultaten vid den typ av analyser som genomförts i projektet är starkt beroende av metodval och beräkningsförutsättningar. För att erhålla en så generell bild som möjligt har därför ett flertal scenarier studerats och dessutom har känslighetsanalyser genomförts.

## 1.3 Metodik

### 1.3.1 Fall som studerats

De fall som studerats i projektet framgår av Tabell 1.

Tabell 1. Huvudfall som studerats i projektet.

Fall	Kraftvärmeverket	Kondenskraftverket
Referensfallet	Utan CCS	Utan CCS
Fall 1	Med CCS	Utan CCS
Fall 2	Utan CCS	Med CCS

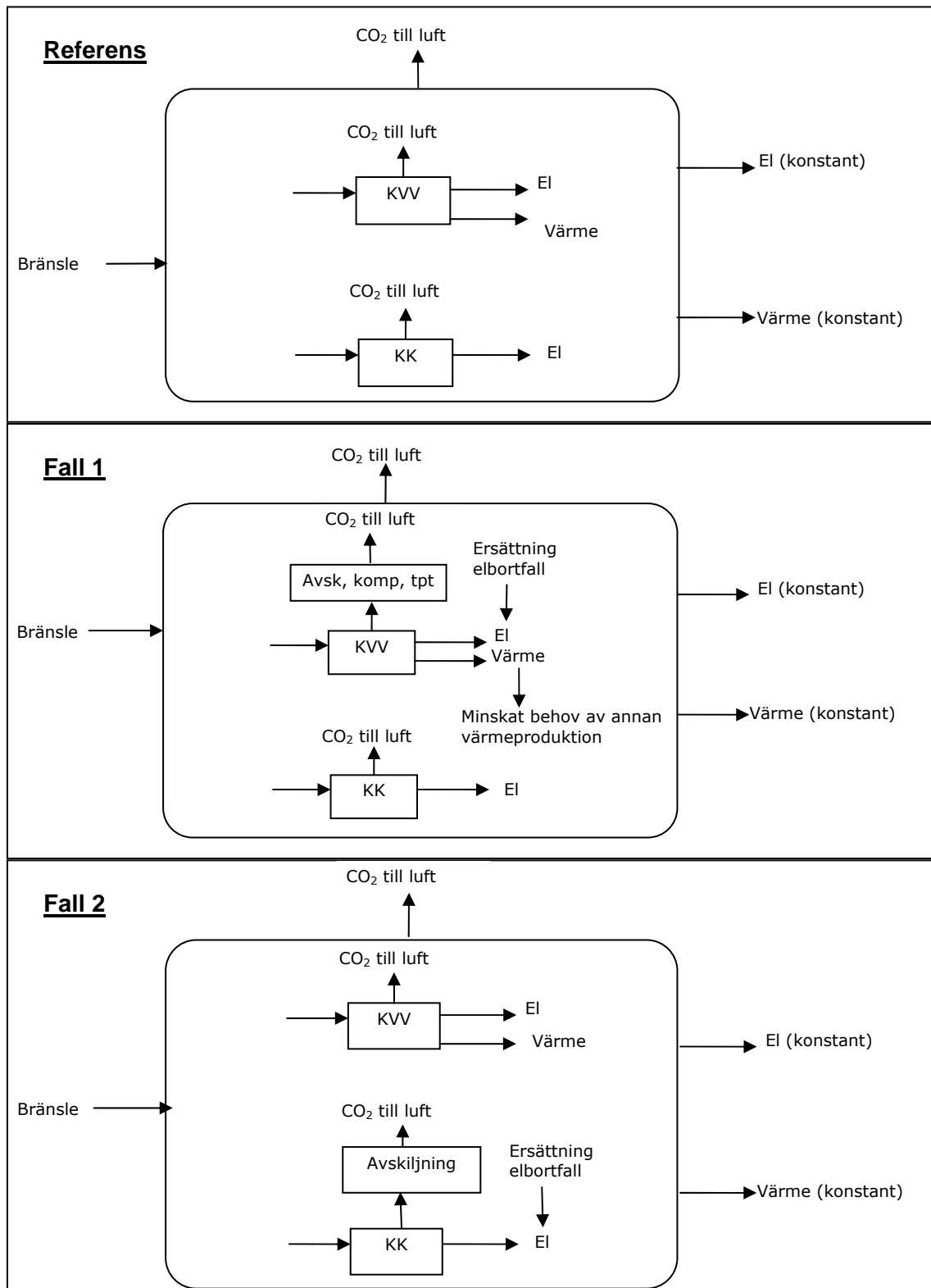
Kraftvärmeverket har i stort baserats på data från Fortum Värmes koleldade kraftvärmeverk i Värtan, Stockholm, vad gäller exempelvis storlek, elproduktion, värmeproduktion och avskiljningsgrad vid CCS. För att möjliggöra jämförelser mellan kraftvärmeverket och kolkondenskraftverket har kolkondensanläggningen definierats för att ge samma output el som kraftvärmeverket. Vi har dock inte funnit någon litteratur som beskriver en anläggning i denna storlek och som i övrigt också visar jämförbara egenskaper som kraftvärmeverket, t.ex. vad gäller avskiljningsgrad, drifttid etc. Det finns däremot litteratur över större anläggningar och vi har valt att utgå från en anläggning som beskrivs i Alstom et al (2001), som skalats ned för att stämma in på de kriterier som önskas för att erhålla jämförbarhet.

Analyserna har sedan gjorts utifrån att kraftvärmeverket och kondenskraftverket tillsammans ska generera samma mängd el och värme i såväl referensfallet, som i fallen med CCS (fall 1 och fall 2). Dessutom har olika antaganden testats som tillsammans genererar olika varianter av fall 1 och 2. Dessa olika scenarier sammanfattas i Tabell 2. I referensfallet antas att både kondensverket och kraftvärmeverket producerar samma mängd el (ca 880 GWh/år). Utöver detta produceras även värme vid kraftvärmeverket (ca 1400 GWh/år). De olika fallen illustreras även i Figur 1.

<sup>2</sup> Man kan hävda att åtgärder för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen från anläggningar som ingår i den internationella handeln med utsläppsrätter inte resulterar i någon kortsiktig utsläppsminskning. Detta eftersom utsläppen tillåts öka i motsvarande omfattning inom handelssystemet, under förutsättning att det inte finns ett kraftigt överskott på utsläppsrätter. Däremot blir det lättare och billigare att uppnå taket, vilket medför att det kan vara mer politiskt gångbart att sänka taket på längre sikt.

Tabell 2. Beskrivning av de fall och scenarier som studerats i projektet. Vind = ny vindkraft, Kol = kolkondens ( $\eta=35\%$ ), VP = värmepump, Tynät = tynät System bio fjärrvärme för marginalfjärrvärme i enlighet med Energimyndigheten (2008), Tpt = transport av koldioxid, Ökad last = antagande att den minskade elproduktionen ersätts genom ökad last, dvs. att kolkondensanläggningen med CCS kan öka bränsleintaget och därmed den interna CO<sub>2</sub>-låga elproduktionen.

Referens	Kraftvärmeverket (KVV)				Kondenskraftverket (KK)		
	Koleldat KVV i Skandinavien utan CCS, Värtaverket som fallstudieobjekt				Koleldat kondenskraftverk utan CCS nedskalad för att ge samma output el som KVV		
Egenskap Scenario	CCS	Kompensation av elbortfall	Värme som trängs undan	Tpt	CCS	Kompensation av elbortfall	Tpt
<b>Fall 1A</b>	Ja	Vind	VP	Båt	-	-	-
<b>Fall 1B</b>	Ja	Kol	VP	Båt	-	-	-
<b>Fall 1C</b>	Ja	Vind	Tynät	Båt	-	-	-
<b>Fall 1D</b>	Ja	Kol	Tynät	Båt	-	-	-
<b>Fall 2A</b>	-	-	-	-	Ja	Vind	-
<b>Fall 2B</b>	-	-	-	-	Ja	Kol	-
<b>Fall 2C</b>	-	-	-	-	Ja	Vind	Båt
<b>Fall 2D</b>	-	-	-	-	Ja	Kol	Båt
<b>Fall 2E</b>	-	-	-	-	Ja	Ökad last	-
<b>Fall 2F</b>	-	-	-	-	Ja	Ökad last	Båt



Figur 1. Jämförelsefall. KVV = kraftvärmeverk, KK = kolkondens.



### 1.3.2 Kompensation av elbortfall och ökad värmeproduktion vid CCS

I fall 1 antas att CCS installeras på kraftvärmeverket, medan kondensverket är detsamma som i referensfallet. I fall 2 har beräkningar gjorts där CCS istället antas vid kondenskraftverket, medan kraftvärmeverket är utan CCS. I båda dessa fall (fall 1 och fall 2) kommer det att bli ett bortfall på el som måste ersättas på något sätt om det gemensamma systemet ska antas generera lika mycket el som i referensfallet. I fall 1 måste hänsyn dessutom tas till att värmeproduktionen ökar varvid behovet av något annat bränsleslag/energislåg i värmemixen minskar. Bakgrunden till detta är att en del av elbortfallet kan återvinnas som värme. Vid CCS på ett kraftvärmeverk med konstant värmeunderlag kommer därmed den utökade värmeproduktionen att tränga undan annan värme vid anläggningen/fjärrvärmenätet. Detta illustreras i Figur 1.

Olika antaganden har gjorts vad gäller kompensation av elbortfallet samt vad den extra producerade värmen vid kraftvärmeverk med CCS antas ersätta. Kompensation av elbortfall är i teorin en fråga om hur elen ska miljövärderas. Det har inte varit rapportens syfte att beskriva och problematisera kring olika miljövärderingsmetoder, utan vi har valt att visa på ett brett spann av resultat för att visa på inverkan av metodval. För mer information om miljövärderingsmetoder hänvisas t.ex. till Sköldberg (2006, 2008), Engström et al (in prep 2008), Gode et al (2007), Elforsk (2008). De huvudfall vi har räknat på är att elbortfallet kompenseras med import av kolkondens, samt investering i ny vindkraft. När det gäller vilken värmeproduktion som kan antas minska har vi dels räknat på fallet vid Värtaverket, där användningen av värmepumpar minskar, dels har vi räknat på ett typnät för fjärrvärme som har mycket biobränsle, avfall och/eller spillvärme och där marginalmixen antagits utgöras av 89% biobränsle, 10% olja och 1% el. Detta är i enlighet med ett av Energimyndighetens föreslagna typnät för fjärrvärme (Energimyndigheten, 2008). Skälet till att vi valt just detta typnät är att det kan anses motsvara en stor del av de svenska fjärrvärmenäten. Dess representativitet i t.ex. Finland kan diskuteras, då Finland t.ex. har betydligt mer torv än Sverige, vilket säkert kan återspeglas i marginalmixen. Som framgår senare i rapporten har dock detta metodval relativt liten inverkan på de totala resultaten så vi har inte räknat på andra fall än detta typnät. För fall 2 (CCS i kondenskraftverket) har också gjorts beräkningar där elbortfallet antas kompenseras genom att anläggningen körs med ökad last, dvs. ökat bränsleintag. Bakgrunden till detta scenario är att till skillnad mot ett kraftvärmeverk, har en kondensanläggning inget värmeunderlag som begränsar elproduktionen. I verkligheten är det troligen inte möjligt att kompensera mer än en del av elbortfallet med ökad last utan en utbyggnad av anläggningen.

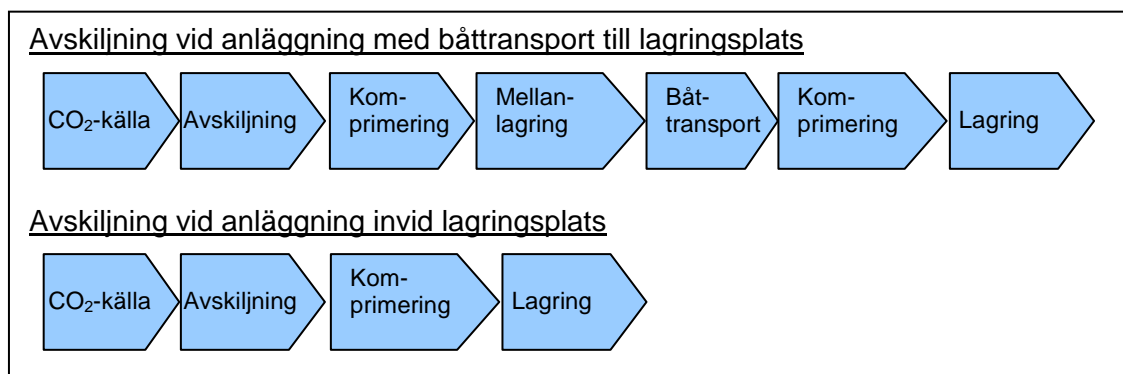
### 1.3.3 Placering av anläggningarna i förhållande till lagringsplats

För alla scenarierna i fall 1 (CCS i kraftvärmeverket) antas att kraftvärmeverket är placerat i Stockholm/Helsingfors och att avskiljd CO<sub>2</sub> transporteras med båt till lagringsplats i Nordsjön. För fall 2 (CCS i kondenskraftverket) görs beräkningar både för fall där anläggningen är placerad vid lagringsplats, t ex i Tyskland (inget behov av vidare transport eller komprimering av avskiljd CO<sub>2</sub> antas) och fall där anläggningen antas vara placerad i Stockholm/Helsingfors där CO<sub>2</sub> transporteras till lagringsplats i Nordsjön med båt.

### 1.3.4 Komprimering och transport av koldioxid

Transport och kompression av koldioxiden inför injekteringen kan utgöra en väsentlig del av kostnaden vid CCS. I projektet har inte kostnader studerats, men energiåtgång och CO<sub>2</sub>-utsläpp vid

transport och komprimering av koldioxid har analyserats. CCS vid en anläggning som kräver båttransport för lagring av koldioxiden omfattar betydligt fler steg än en anläggning som antas ligga vid en lagringsplats, se Figur 2.



Figur 2. Steg som måste beaktas beroende på var de studerade anläggningarna antas vara belägna.

Vid lagring i akvifär ska koldioxiden vara i s.k. överkritiskt tillstånd. Det innebär att den ska ha tryck och temperatur överskridande den kritiska punkten, vilket för koldioxid ligger på 74 bar och 31,1°C. Det uppskattas att betydligt högre tryck än 74 bar krävs för injekteringen bl.a. på grund av tryckfall. Av detta skäl är många fall i litteraturen baserade på kompression till t.ex. 110 eller 139 bar. De fallstudier för CCS vid kolkondens som vi vill jämföra i detta projekt har räknat på kompression till 139 bar och därför har även vi utgått från detta. Energiåtgången för kompression har mycket grovt uppskattats dels med hjälp av litteratordata och dels beräkningar av energiåtgång för värming och komprimering/pumpning av gasformig och flytande CO<sub>2</sub>. Vid komprimering vid lagringsplatsen i Nordsjön har vi antagit att elen kommer från naturgas utan CCS medan el för komprimering vid anläggningarna ingår i elbalansen för respektive anläggning. Beräkningarna presenteras i resultatavsnittet.

I fallet med CCS vid kolkondens i t.ex. Tyskland har vi antagit att lagring kan ske direkt vid anläggningen (indata omfattar energiåtgång för komprimering av koldioxid till 139 bar). När CCS installeras vid anläggning i Sverige/Finland har antagits att koldioxiden komprimeras till 7 bar och -50°C, dvs. flytande form, för båttransport till akvifären Utsira utanför Norges kust. Vi antar att lagringsplatsen kan nås direkt med båt och att sträckan från Stockholm eller t.ex. Helsingfors till Utsira är 1600 km (Norge). Uppskattningarna inkluderar returtransport och avser båt med en kapacitet av 10 000 ton CO<sub>2</sub> som kör med en snitthastighet av 15 knop.

Emissionerna vid båttransport har uppskattats med hjälp av litteraturen (IEAGHG, 2004).

Emissionerna har följande ursprung:

- Emissioner sker vid mellanlagring av koldioxid (läckage från mellanlagret)
- Emissioner från läckage vid transporten (beror av transportavståndet och snitthastigheten)
- Emissioner från fartygets motor (beror av transportavståndet och snitthastigheten)

### 1.3.5 Indata

Indata för analyserna vad gäller exempelvis effekt, bränsleförbrukning, elverkningsgrad, värmeverkningsgrad (i fallet kraftvärme), drifttid, CO<sub>2</sub>-utsläpp och avskiljd mängd CO<sub>2</sub> har erhållits dels från litteraturen, dels från data för Fortum Värme's koleldade kraftvärmeverk i Värtan, Stockholm,

och dels genom egna antaganden. Utöver data för Värtaverket har även andra analyser gjorts för att tillsammans motsvara en mer generell bild av kraftvärmeverk i Sverige/Finland. För kolkondensanläggningen har primärdata i huvudsak hämtats från Alstom et al (2001). Ett skäl till valet av denna anläggning är att den delvis liknar Värtaverket vad gäller t.ex. avskiljningsgrad och att CCS installeras på befintlig anläggning. Det bör påpekas att val av anläggningsegenskaper starkt påverkar resultaten. I känslighetsanalysen har motsvarande beräkningar även gjorts för ett nytt kondenskraftverk, där primärdata i huvudsak hämtats från Rubin et al (2005). Emissionsfaktorer som använts för kompensation av elbortfall respektive elbehov för komprimering av CO<sub>2</sub> vid lagringsplatsen visas i Tabell 3.

Tabell 3 Emissionsfaktorer för el som används i studien (baserat på Uppenberget et al, 2001)

Bränsleslag	CO <sub>2</sub> -emission (kg/MWh)
Kolkondens ( $\eta = 35\%$ )	969
Naturgas ( $\eta = 50\%$ )	434
Vindkraft	6,48

### 1.3.6 Känslighetsanalyser

Ett av rapportens syften har varit att belysa inverkan av olika parametrar på resultaten. Förutom de olika scenarierna har därför även följande känslighetsanalyser genomförts:

- Beräkningar för grundscenarierna beskrivet ovan men där kolkondenskraftverket har högre elproduktion motsvarande ett mer realistiskt kolkraftverk på kontinenten (icke nedskalad anläggning).
- Undvikt mängd koldioxid per nytthet vid olika allokeringmetoder för kraftvärme (alla emissioner allokeras på elen, primärenergimetoden samt alternativproduktionsmetoden<sup>3</sup>)
- Analys av emissioner vid olika transportavstånd
- Beräkningar för grundscenarierna beskrivet ovan men baserat på ett nytt kolkondenskraftverk enligt Rubin et al (2005). Denna anläggning har bl.a. högre elverkningsgrad men lägre avskiljningsgrad vid CCS än kolkondensanläggningen enligt Alstom et al (2001)

### 1.3.7 Jämförelser

Följande parametrar jämförs vid de olika fallen:

- Totala koldioxidutsläpp samt undvikt mängd koldioxid för systemet
  - emissioner vid anläggningen
  - emissioner från ersatt elbortfall
  - emissioner för transport och komprimering av CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub>-utsläpp/kWh med olika antaganden vad gäller allokering av emissioner mellan el och värme (alla emissioner allokeras på elen, primärenergimetoden samt alternativproduktionsmetoden)
- Analys av emissioner vid olika transportavstånd (känslighetsanalys)

<sup>3</sup> För mer information om allokeringmetoder hänvisas till exempelvis Persson et al ((2005). Antagna alternativverkningsgrader utan CCS:  $\eta_{el} = 40\%$ ,  $\eta_{värme} = 90\%$ . Vid CCS konstaterades att ”spannet” för den lägsta respektive högsta allokeringen på elen blev likvärdigt som utan CCS. Därför antogs samma allokering på elen som utan CCS.

- Undvikt mängd CO<sub>2</sub>/kWh på anläggningsbasis (dvs. utan systemeffekter<sup>4</sup>) med olika antaganden vad gäller allokering av emissioner mellan el och värme (känslighetsanalys)

## 2 Resultat och diskussion

### 2.1 Referens- och fallstudieanläggningar

Egenskaper för referensfallen samt fall 1 och 2 och som utgör indata för beräkningarna framgår av Tabell 4.

Tabell 4 Bakgrundsdata för de olika referensanläggningarna som ingår i beräkningarna.

	Enhet	Kondenskraftverk (KK)	Kondenskraftverk (KK)	Kraftvärmeverk (KVV)
		fullskala	nedskalad	
<i>Källa</i>		<i>Alstom et al, 2001</i>	<i>Omräknat från Alstom et al, 2001</i>	<i>Fortum, 2008</i>
Bränsleeffekt	MW	1199	415	430
Drifttid	timmar/år	5869	5869	6000
Elproduktion utan CCS	GWh/a	2547	881	881
Elproduktion med CCS	GWh/a	1497	518	585
Värmeproduktion utan CCS	GWh/a	0	0	1412
Värmeproduktion med CCS	GWh/a	0	0	1639
CO <sub>2</sub> -utsläpp utan CCS	kton/a	2321	803	845
CO <sub>2</sub> -utsläpp med CCS	kton/a	93	32	42
Avskiljningsgrad vid CCS	%	96%	96%	95%
CO <sub>2</sub> -tryck efter avskiljning	bar	139 bar	139 bar	7 bar, -50°C

### 2.2 Kompression och transport av koldioxid

Energibehovet för kompression har grovt uppskattats enligt beskrivningen i metodavsnittet. Särskilt siffran över energibehov för komprimering från 7 bar till 139 bar är grovt uppskattad. Siffrorna och aktuella referenser återges i Tabell 5. Energin för kompressionen antas komma från el och CO<sub>2</sub>-utsläppen som kompressionen ger upphov till beror således på varifrån elen antas komma. Vid komprimering vid lagringsplatsen i Nordsjön antas att elen kommer från naturgas utan CCS medan el för komprimering vid anläggningarna ingår i elbalansen för respektive anläggning.

Tabell 5. Grov uppskattning av energibehov för komprimering av koldioxid.

Från		Till		Energibehov kWh/ton CO <sub>2</sub>	Källa	Ändamål
Tryck (bar)	Temp (°C)	Tryck (bar)	Temp (°C)			
1	20	7	-50	123	IEAGHG (2004)	Förvätskning av CO <sub>2</sub> för båttransport
7	-50	139	30-40	65	McCullum (2006)	Från båttransport till injektering i akvifär
1	20	139	30-40	113	IPCC SRCCS (2005)	Från avskiljning till injektering i akvifär (alt. först pipeline)

<sup>4</sup> Med systemeffekter avses t.ex. kompensation av elbortfall samt emissioner för transport av koldioxid.

De uppskattade totala emissionerna vid båttransport som andel av transporterad CO<sub>2</sub> sammanfattas i Tabell 6. Läckage från mellanlagringstank och från båtens tankar är medräknade, men dessa emissioner kan eventuellt minskas kraftigt om teknik installeras där läckande CO<sub>2</sub> (boil-off) fångas upp och förvätskas på nytt. Emissionerna per transporterad mängd CO<sub>2</sub> ökar om en högre snitthastighet på båten antas, men blir mindre om en båt med högre kapacitet används (IEAGHG, 2004). I tabellen har vi räknat på emissionerna för transport dels till Utsiraakvifären i Nordsjön och dels till Tyskland för tänkbar lagring där. Denna beräkning avser dock endast båttransporten, men vid lagring i Tyskland är det troligt att det även skulle krävas viss landtransport.

Tabell 6. Uppskattade emissioner vid transport med fartyg till olika platser, i % av transporterad CO<sub>2</sub>.

	Stockholm/Helsingfors till Norge (Utsira)	Stockholm/Helsingfors till Tyskland	Referens
Uppskattat transportavstånd	1600 km	800 km	
Läckage vid mellanlagring	0,5%	0,5%	IEAGHG (2004)
Läckage vid båttransport	0,8%	0,4%	IEAGHG (2004)
Emissioner från fartyget	3,3%	1,6%	IEAGHG (2004)
TOTALT	4,5%	2,5%	

## 2.3 Totala emissioner

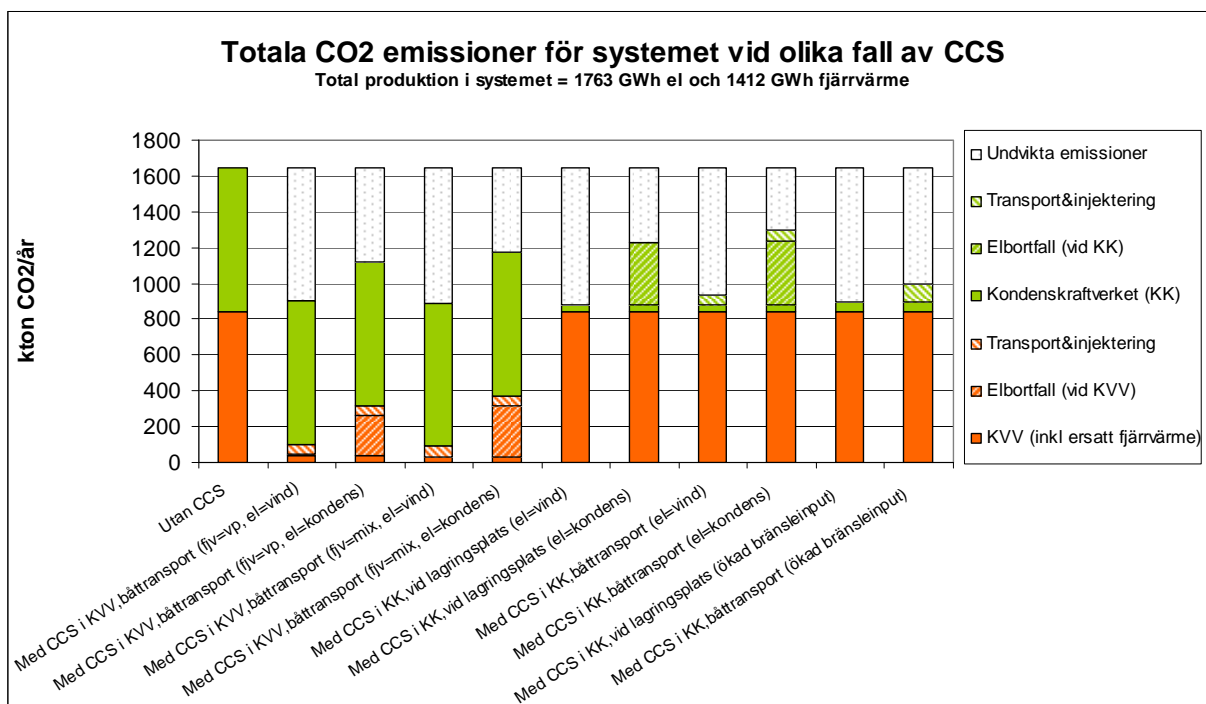
Resultatet från beräkningarna av totala emissioner från hela systemet med de två anläggningarna sammanfattas i Figur 3. Figuren visar emissionerna från kraftvärmeverket (KVV) samt kondenskraftverket (KK) i referensfallet (utan CCS), fall 1 (CCS vid KVV) och fall 2 (CCS vid KK). Observera att kondenskraftverket har normaliserats så att elproduktionen utan CCS är lika stor som i kraftvärmeverket enligt beskrivningen i metodavsnittet.

De två anläggningarna har ungefär samma CO<sub>2</sub>-emissioner utan CCS. Vid CCS är antagandet om hur elbortfallet ersätts mest avgörande för de totala emissionerna. Detta har större betydelse för resultatet än om CCS införs vid KVV respektive KK eller om anläggningen ligger vid lagringsplats respektive långt från lagringsplats där CO<sub>2</sub> måste transporteras med båt. Om elbortfallet antas ersättas av utbyggd vindkraft blir emissionsminskningen betydligt högre än om elbortfallet antas ersättas av kolkraft. Om elbortfallet vid CCS i kondenskraftverket kan ersättas genom att anläggningen körs med högre last (ökad bränsleinput) blir emissionsminskningen nästan lika stor som för fallen med vindkraft.

Avstånd till lagringsplats har också en viss betydelse. Transport av CO<sub>2</sub> med båt (här 1600 km) och efterföljande behov av kompression vid lagringen ger större emissioner än då anläggningen ligger vid lagringsplats. CCS vid kraftvärmeverket medför att fjärrvärmeproduktionen ökar vilket ersätter annan värmeproduktion (värmepumpar eller ett svenskt typfjärrvärmenät). Detta har dock relativt liten betydelse jämfört med systemets totala emissioner. Störst betydelse får det i de fall där elbortfallet antas ersättas av kolkraft som har en hög emissionsfaktor: eftersom det totala elbortfallet minskar då överskottsvärmen ersätter värmepump (som drivs av el), ger det större emissionsminskning jämfört med fallet då överskottsvärmen ersätter typfjärrvärme (med en relativt låg emissionsfaktor).

Då den minskade elproduktionen i systemet antas ersättas med kolkraft uppnås störst emissionsminskning om CCS införs vid kraftvärmeverk (trots att båttransport krävs) där överskottsvärmen ersätter värmepump, medan lägst emissionsminskning uppnås då CCS införs i kondenskraftverk långt från lagringsplats. Det bör dock påpekas att resultatet är starkt beroende av

vilken elverkningsgrad som antas för anläggningarna i referensfallet, och hur mycket den sjunker vid CCS. Om kraftvärmeverket skulle jämföras med ett nytt kondenskraftverk med högre elverkningsgrad skulle införande av CCS vid kondenskraftverket (förutsatt samma höga avskiljningsgrad) ge större emissionsminskningar än vad resultatet i denna studie visar (se vidare under känslighetsanalys). Emissionsminskningen som kan uppnås för systemet beror självklart också på hur stor anläggningen är där CCS införs, vilket illustreras i nästa avsnitt.



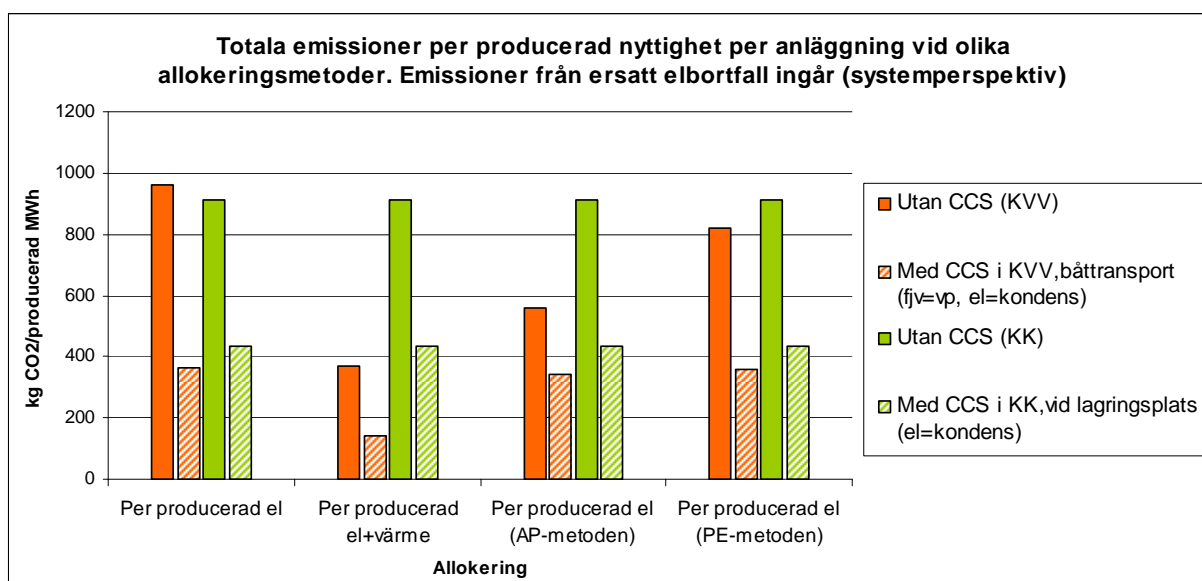
Figur 3 Totala emissioner för systemet (kraftvärmeverk, KVV+kondenskraftverk, KK) vid olika fall av CCS. I alla scenarier är den totala el- och värmeproduktionen för systemet konstant. Elbortfallet i anläggningen vid CCS ersätts av vindkraft (el=vind) eller kolkondens (el=kondens), eller genom ökad bränsleinput (endast vid CCS i KK). Ökad fjärrvärmeproduktion vid CCS i KVV ersätter värmepump (fjv=vp) eller svenskt typfjärrvärmenät (fjv=mix).

## 2.4 Emissioner per producerad nyttighet

Utsläppen per producerad nyttighet har beräknats för referensfallet och fallen med CCS vid kraftvärme(fall 1) respektive kondens (fall 2). Eftersom kraftvärmeverket producerar både el och värme uppstår dock svårigheter vid jämförelsen mellan kraftvärme och kondens. Ska jämförelsen avse emissioner per totalt producerade nyttigheter (el och värme i kraftvärmefallet och el i fallet med kondens) eller bara per producerad el och i det senare fallet – hur stor del av emissionerna från kraftvärmeverket ska belasta elen? När det gäller denna bördefördelning, eller allokering, finns en mängd olika metoder och valet av allokeringmetod kan bli helt avgörande för resultatet. Därför har flera olika jämförelser gjorts, dvs. alla emissioner allokeras på elen, alternativproduktionsmetoden samt primärenergimetoden. Dessutom har en jämförelse gjorts där emissionerna per totalt producerad nyttighet beräknats. Resultaten redovisas i Figur 4. Figuren visar totala emissioner för kraftvärmeverket (KVV) respektive kondenskraftverket (KK) med och utan CCS, inklusive

emissioner från elbortfall (ersätts av kolkraft) och i KVV-fallet emissioner från transport/injektering av CO<sub>2</sub> och värmeöverskott (ersätter värmepump).

För kondenskraftverket, där endast el produceras, allokeras samtliga emissioner på elen, varför resultatet blir det samma vid de olika allokeringmetoderna (de gröna staplarna i Figur 4). För kraftvärmeverket, där både el och värme produceras, blir resultatet olika beroende på allokeringmetod. Resultatet visar att det lätt blir vilseledande att jämföra emissioner per nytthet (och emissionsminskningar per nytthet vid CCS) från ett kraftvärmeverk och från ett kondenskraftverk eftersom de producerar olika nyttheter. En effekt som kan ses är exempelvis att emissionerna per nytthet blir lägre vid CCS i kraftvärmeverket än vid kondenskraftverket med de tre allokeringmetoderna till höger, medan de undvikta emissionerna jämfört med fallet utan CCS är högre för CCS vid kondenskraftverket (skillnaden mellan de helfärgade och streckade staplarna i figuren).



Figur 4 Totala emissioner med och utan CCS per producerad nytthet vid olika allokeringmetoder, redovisat per anläggning. Emissioner från anläggningen, transport och injektering av CO<sub>2</sub> samt emissioner från ersatt elbortfall (ersätts av kolkondens) och fjärrvärme (ersätter värmepump) ingår och redovisas per i) totalt producerad el, ii) totalt producerad el och fjärrvärme, iii) totalt producerad el utifrån alternativproduktionsmetoden (AP) och iv) totalt producerad el utifrån primärenergimetoden (PE).

Att skillnaden mellan kraftvärmeverket och kondenskraftverket inte är större vad gäller emissioner per producerad el, när alla emissioner allokeras på elen i kraftvärmefallet, är ett tecken på att den kondensanläggning som studerats har relativt låg elverkningsgrad och därmed hög primärenergi-användning. Emissionerna per producerad el är likvärdiga, trots att kraftvärmeanläggningen även producerar en väsentlig mängd nyttig värme. Primärenergifaktorn för kraftvärmeverket är således betydligt lägre för kraftvärmeanläggningen. Det är givetvis också därför som staplarna över utsläpp per producerad el + värme kommer betydligt bättre ut för kraftvärmeanläggningen än kondensanläggningen. Det kan vara lätt att dra slutsatsen att CCS bör installeras på kolkondensanläggningen eftersom den idag har en hög emissionsfaktor. Å andra sidan: Är det verkligen rätt att bygga om en relativt ineffektiv anläggning för CCS? Är det inte bättre att konvertera anläggningen till förnybara bränslen, bygga ny förnybar elproduktion eller att bygga en ny effektivare anläggning med CCS?

## 2.5 Förändring av verkningsgrader vid CCS

Avskiljning och lagring av koldioxid är energikrävande processer, särskilt gäller detta avskiljningssteget och komprimeringen. Av detta skäl minskar elverkningsgraden och minskningen kan vara omkring 15 procentenheter för befintliga kolkondensanläggningar och runt 10 procentenheter för nya anläggningar. Minskningen i elverkningsgrad innebär att en större bränslemängd krävs för att producera samma nytthet (ca 70% för befintliga och 25-30% för nya kolkondensanläggningar).

Vid CCS på en befintlig kraftvärmeanläggning blir effekten annorlunda och totalverkningsgraden förändras inte så mycket för systemet. Detta beror på att delar av det elbortfall som avskiljningen orsakar kan återvinnas i form av värme. I de kraftvärmefall som studerats i detta projekt sjunker totalverkningsgraden endast med 3 procentenheter (elverkningsgraden sjunker ca 12 procentenheter och värmeverkningsgraden ökar ca 9 procentenheter). Vid konstant värmeunderlag minskar således möjligheten att producera el.

Vid jämförelse av nyttan (ur hållbarhetssynpunkt) av att införa CCS vid olika anläggningar bör således parallellt med beräkning av vilken emissionsminskning som kan uppnås för anläggningen och för systemet, också energieffektiviteten och totalverkningsgraden beaktas. Dessa parametrar skall sedan ställas mot kostnaden för åtgärden.



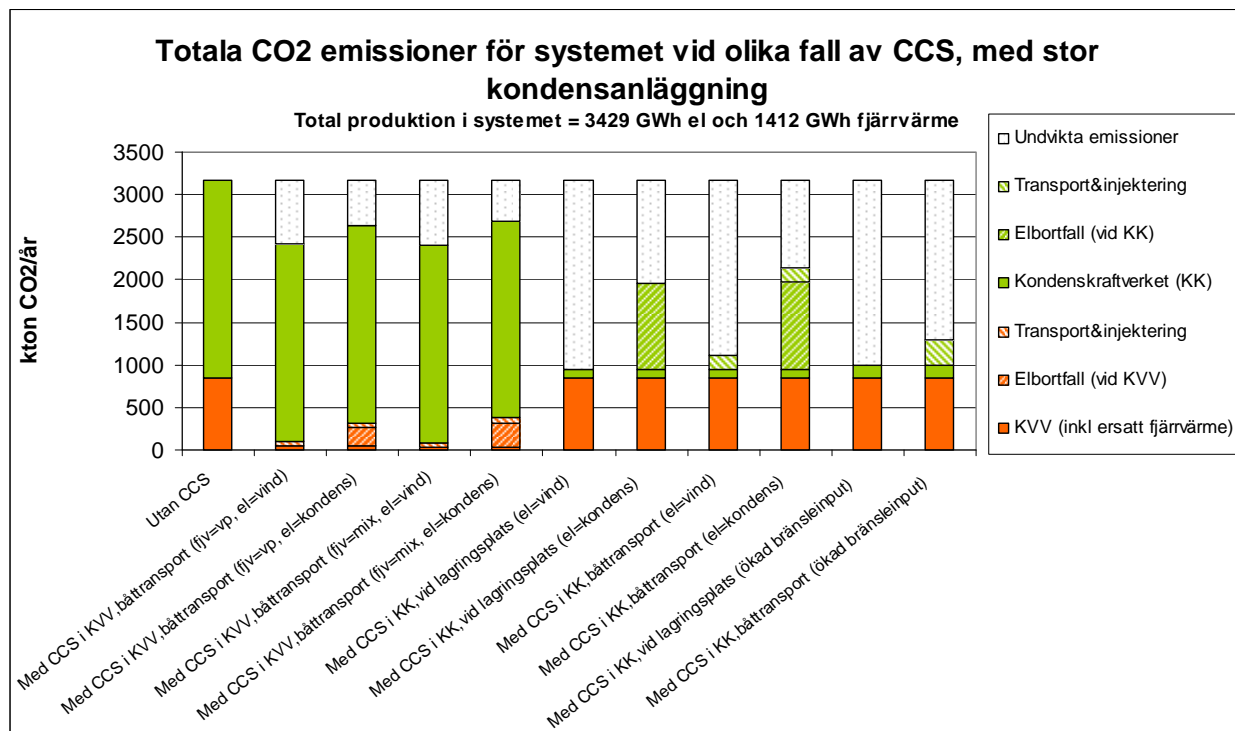
### 3 Känslighetsanalyser

Följande känslighetsanalyser redovisas nedan:

- Totala emissioner vid fullskalig kolkondensanläggning (mer verkligt fall)
- Undvikta emissioner per producerad nyttighet (exklusive systemeffekter)
- Olika transportavstånd
- CCS vid ny koleldad anläggning
- Övriga kommentarer

#### 3.1 Totala emissioner för systemet vid fullskalig kondenskraftanläggning

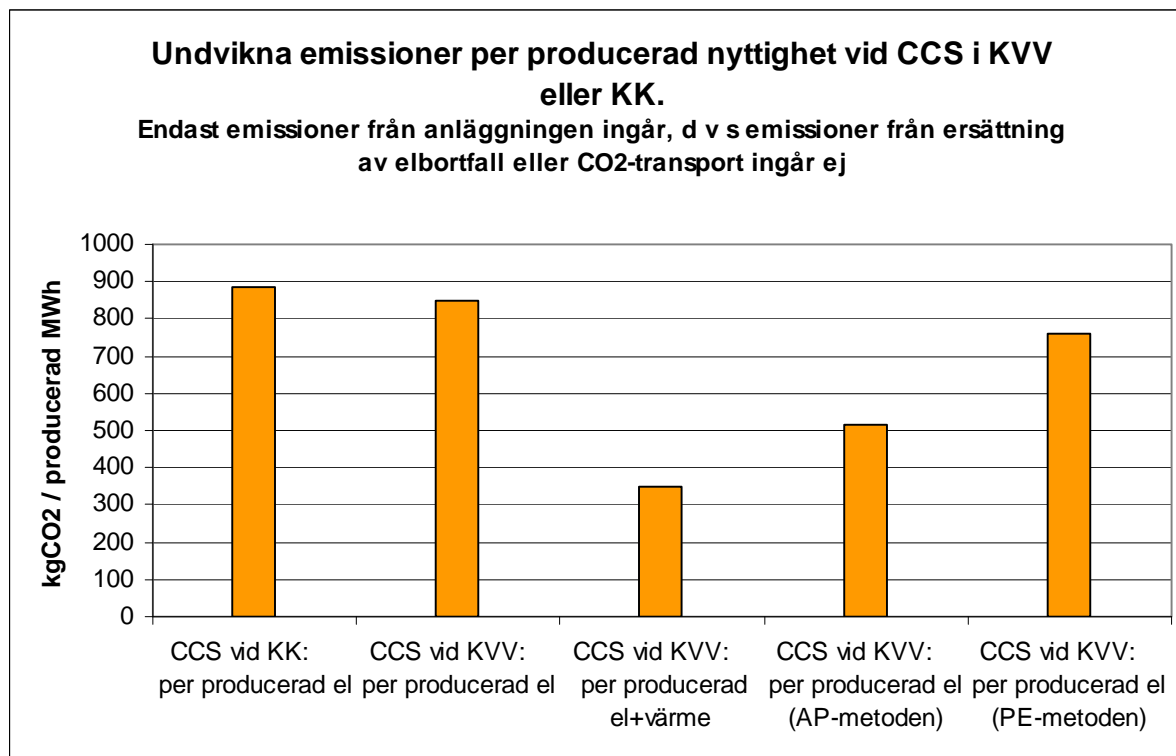
För att visa på betydelsen av storleken på den anläggning där CCS införs, har motsvarande beräkningar som visas i Figur 3 gjorts, men där kondenskraftverket är i normal storlek, dvs. med nästan tre gånger så stor eleffekt som kraftvärmeverket. Resultaten visas i Figur 5. I detta fall blir som väntat emissionsminskningen för systemet betydligt större för alla scenarier där CCS införs vid kondenskraftverket. Då det totala elbortfallet blir mycket stort vid införande av CCS vid kondenskraftverket får det avgörande betydelse för resultatet hur detta elbortfall antas ersättas. Då mängden avskild koldioxid blir större vid CCS på det större kondenskraftverket, får det också större betydelse om anläggningen är placerad långt från lagringsplats så att båttransport av koldioxiden krävs (ger högre emissioner).



Figur 5 Totala emissioner för systemet vid olika fall av CCS, men där kolkondensanläggningen (KK) är i naturlig storlek (nästan tre gånger så stor elproduktion som KVV). Elbortfallet i anläggningen vid CCS ersätts av vindkraft (el=vind) eller kolkondens (el=kondens), eller genom ökad bränsleinput (endast vid CCS på kolkondensanläggningen). Ökad fjärrvärmeproduktion vid CCS i KVV ersätter värmepump (fjv=vp) eller svenskt typfjärrvärmenät (fjv=mix).

### 3.2 Undvikta emissioner per producerad nyttighet

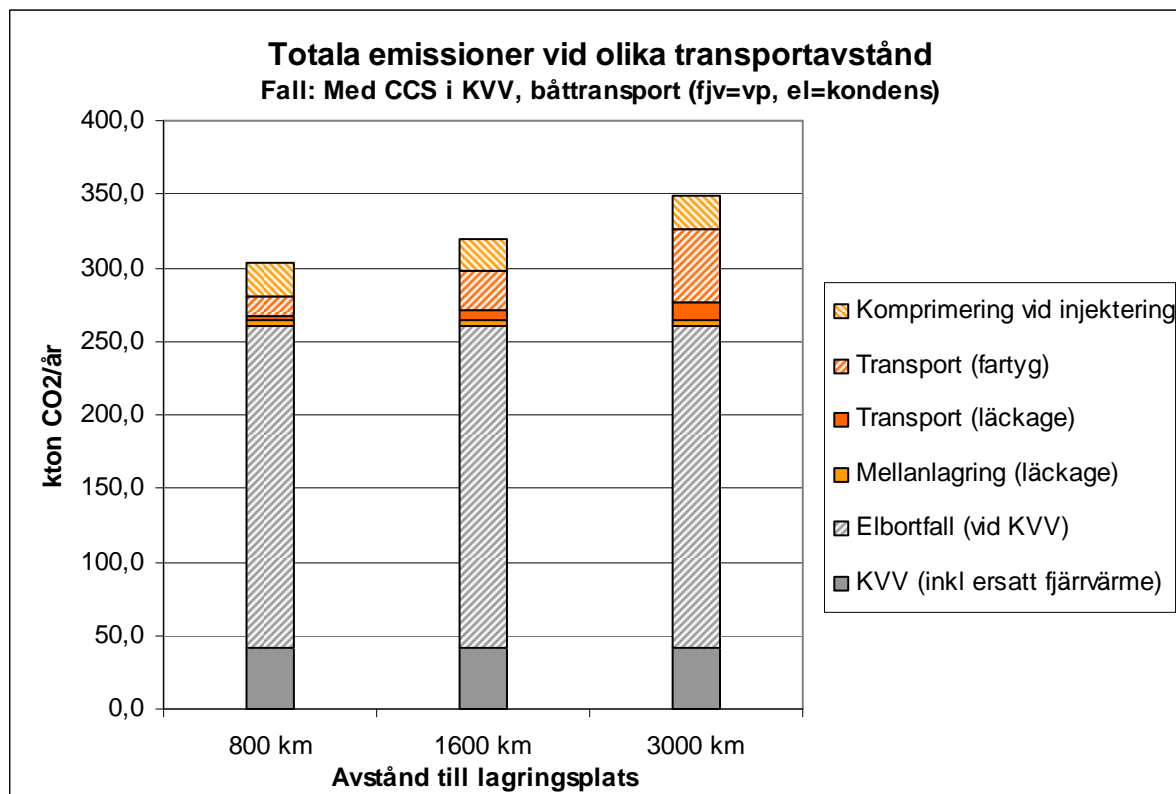
Emissionsreduktioner vid CCS på elproduktionsanläggningar uttrycks och jämförs ofta som undvikta emissioner per producerad el. Man bortser då från eventuella systemeffekter såsom utsläpp från ersatt elbortfall eller utsläpp från transport och lagring av CO<sub>2</sub>, vilket studerats i detta projekt. I Figur 6 visas undvikta emissioner vid CCS i kraftvärmeverket respektive kondenskraftverket per producerad nyttighet (alltså exklusive systemeffekter). För kraftvärmeverket visas emissioner per producerad el och värme samt per producerad el med tre olika allokeringmetoder (alla emissioner belastas elen, alternativproduktionsmetoden samt primärenergimetoden). Figuren visar, inte förvånande, att de undvikta emissionerna per producerad el vid CCS blir lägre för kraftvärmeverket om emissionerna allokeras mellan el och värme än om alla emissioner allokeras på elen. En slutsats är att det är svårt att jämföra kraftvärme och kondens och att det inte på ett enkelt sätt går att beskriva vilken utsläppsreduktion som kan uppnås vid CCS i ett kraftvärmeverk och samtidigt belysa värdet av att även ”koldioxidlåg” fjärrvärme produceras. En mer heltäckande bild krävs för att jämföra anläggningarna, t.ex. omfattande kostnadsanalys, studie av alternativen till CCS, metod för att jämföra kostnader, emissionsreduktioner och effektiviteten i anläggningar. Det är också, som denna studie visar, viktigt att inkludera systemeffekter för att på ett rättvisande sätt beskriva klimatnyttan av åtgärden.



Figur 6. Undvikta emissioner per producerad nyttighet vid CCS i kraftvärmeverk (KVV) eller kondensanläggning (KK) vid olika allokeringmetoder. Endast emissioner från anläggningen ingår, dvs. emissioner från ersatt elbortfall/fjärrvärme och transport/injektion av CO<sub>2</sub> ingår ej. Allokeringar: emissioner per producerad el i anläggningen, per producerad el och fjärrvärme i anläggningen, per producerad el i anläggningen utifrån alternativproduktionsmetoden (AP) samt per producerad el i anläggningen utifrån primärenergimetoden (PE).

### 3.3 Totala emissioner vid olika transportavstånd

Beräkningar av de totala emissionerna har gjorts för ett av scenarierna (CCS i KVV där fjärrvärmen ersätter värmepump och elbortfall ersätts av kolkondens) där olika transportavstånd till lagringsplats antas (båttransport). Resultatet visas i Figur 7. Observera att endast emissioner (inklusive systemeffekter) förknippade med kraftvärmeverket redovisas. Resultatet visar att emissionerna från transport av CO<sub>2</sub> med båt är proportionella mot transportavståndet. Vid ett transportavstånd över 1600 km överstiger de transportrelaterade emissionerna de utsläpp som kommer från själva kraftvärmeverket, enligt uppskattningarna. De transportrelaterade emissionernas andel av de totala utsläppen för systemet beror bl.a. på hur elbortfallet har miljövärderats, vilket framgår av Figur 3.



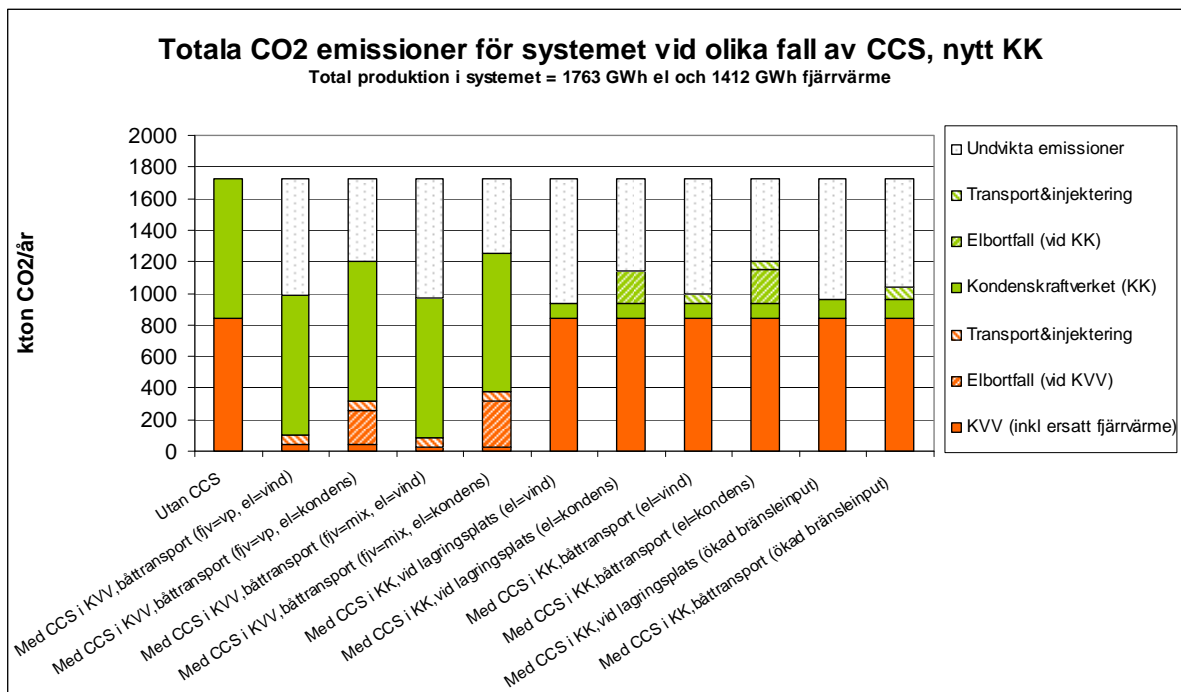
Figur 7 Totala emissioner vid CCS i KVV vid olika transportavstånd, redovisat för en anläggning: CCS i KVV där fjärrvärme ersätter värmepump (vp) och elbortfall ersätts av kolkraft.

### 3.4 Beräkningar baserat på ett nytt kondenskraftverk med högre elverkningsgrad

Resultatet av beräkningarna påverkas av vilka egenskaper som antas för typanläggningarna som ingår i analysen. Scenarieberäkningarna som visas i Figur 3 har baserats på en relativt ineffektiv kolkondensanläggning, med en elverkningsgrad på 36,2% utan CCS och 21,3% med CCS, men med en hög CO<sub>2</sub>-avskiljningsgrad vid CCS (96%). Detta är jämförbart med det studerade kraftvärmeverket (elverkningsgraden är 34,2% utan CCS och 22,7% med CCS, avskiljningsgraden är 95%). I känslighetsanalysen har motsvarande beräkningar gjorts för en annan typanläggning (Rubin et al, 2005), en ny superkritisk kolkondensanläggning med relativt hög elverkningsgrad (40,9% utan CCS och 31,1% med CCS) men med en lägre CO<sub>2</sub>-avskiljningsgrad vid CCS (90%). Resultatet från beräkningarna visas i Figur 8.

Emissionerna från kondenskraftverket vid CCS blir något högre (pga. en lägre avskiljningsgrad), men emissionerna från ersatt elbortfall blir lägre tack vare den effektivare CCS-integrationen. Sett över de totala emissionerna för hela systemet blir emissionsminskningen något högre om CCS införs på det nya effektivare kolkraftverket än på det gamla, om elbortfallet antas ersättas av kolkondens. Med en högre avskiljningsgrad än 90% skulle emissionerna från anläggningen bli lägre, men det skulle samtidigt medföra ett större elbortfall. Vilket som får störst effekt på systemets totala emissioner beror återigen på vad man antar att elbortfallet ersätts av. Som nämnts tidigare är

energieffektivitet en annan viktig parameter som bör beaktas vid sidan av totala emissioner och kostnad för bedömning av miljönyttan.



Figur 8 Totala emissioner för systemet (kraftvärmeverk, KVV+kondenskraftverk, KK) vid olika fall av CCS, men där beräkningarna baserats på ett nytt kondenskraftverk. I alla scenarier är den totala el- och värmeproduktionen för systemet konstant. Elbortfallet i anläggningen vid CCS ersätts av vindkraft (el=vind) eller kolkondens (el=kondens), eller genom ökad bränsleinput (endast vid CCS i KK). Ökad fjärrvärmeproduktion vid CCS i KVV ersätter värmepump (fjv=vp) eller svenskt typfjärrvärmenät (fjv=mix).

## 4 Slutsatser

Avskiljning och lagring av koldioxid är en lovande teknik för att åstadkomma kraftiga reduktioner av CO<sub>2</sub>-utsläppen. Dess effekter måste dock alltid analyseras i ett helhetsperspektiv, där hänsyn tas till värdering av producerade nyttigheter emissioner, undvikta emissioner, kostnader, andra miljöeffekter, alternativa åtgärder m.m. Nedan listas huvudslutsatserna från projektet med de förutsättningar som tillämpats:

- Elverkningsgraden minskar vid CCS, men vid kraftvärme kan delar av elbortfallet återvinnas som värme.
- Det är inte trivialt att jämföra emissionsförbättringarna med CCS vid kraftvärme respektive kolkondens, t.ex.:
  - Analysen av totala emissioner med och utan CCS vid kraftvärme respektive kolkondens ger något bättre resultat för kraftvärmeanläggningen i de fall då kolkondensanläggningen har skalats ned till kraftvärmeverkets elproduktionsstorlek. Vid jämförelse utan nedskalning blir givetvis emissionsreduktionen betydligt större för CCS vid kondensanläggningen än vid kraftvärmeverket. Om kraftvärmeverket jämförs med en ny kondensanläggning med CCS ger den nya kondensanläggningen något bättre resultat än kraftvärmeverket.
  - Kraftvärmeanläggningen kommer betydligt bättre ut än kondenskraftverket vid jämförelse av emissioner per totalt producerade nyttigheter. En viktig orsak till detta är naturligtvis att även en stor mängd värme produceras i kraftvärmeverket, men också att kondensanläggningen är relativt ineffektiv.
  - Vid jämförelse av emissioner per producerad el beror resultaten på val av allokeringmetod för kraftvärmeverket. Kraftvärmeanläggningen ger dock något lägre emissioner oavsett allokeringmetod (tre olika har jämförts).
  - Undvikta mängd koldioxid per producerad el är ett vanligt sätt att jämföra CCS vid olika anläggningar. Här visar kolkondensanläggningen på en större mängd undvikta CO<sub>2</sub> än kraftvärmeverket. En orsak till detta är återigen att kondensanläggningen är ineffektiv.
- Utifrån punkterna ovan har vi dragit slutsatsen att den mest rättvisande bilden av vilken klimateffekt införandet av CCS har då kraftvärme och kondenskraft skall jämföras är att titta på hur de totala emissionerna förändras för ett helt system, men där samma mängd nyttig energi produceras (i detta fall ett kraftvärmeverk och ett kondenskraftverk) såsom gjorts i Figur 3 och Figur 5.
- CCS vid kraftvärme ger både el och värme med låg emissionsfaktor för CO<sub>2</sub>. En fullständig jämförelse av kraftvärme och kondens bör även ta hänsyn till det ev. värmebehov som finns där kolkondensanläggningen är placerad och inkludera den miljöbelastning det medför.
- För systemets totala klimatpåverkan är det avgörande hur elbortfallet vid CCS värderas/antas ersättas. Av mindre betydelse, men inte försumbart, är vilken värmeproduktion som vid konstant värmeunderlag minskar i behov när CCS installeras på ett kraftvärmeverk.
- Kostnaden för CCS vid olika anläggningar är en avgörande faktor vid sidan av resultaten kring utsläppen.

- Primärenergiåtgången ökar vid installation av CCS. Energieffektiviteten i systemet bör också noggrant beaktas vid jämförelsen av olika miljöåtgärder.
- Emissionerna vid transport och komprimering (utsläpp från fartyg, läckage samt behov av el för komprimering) utgör en betydelsefull del av emissionerna vid CCS som kräver fartygstransport. Enligt uppgift är dessutom kostnaden allt annat än försumbar.
- Resultaten från detta projekt ger möjligen en liten fördel av att installera CCS vid kraftvärmeverket med de förutsättningar som valts i denna studie. Viktiga anledningar till detta är att kraftvärmeverket har en hög totalverkningsgrad och att avskiljningen är effektiv samt att kondensanläggningen är relativt ineffektiv. För att minska primärenergiåtgången och koldioxidutsläppen vore det bättre att konvertera kondensanläggningen till förnybart bränsle, att lägga ned anläggningen och istället investera i ny förnybar elproduktion alternativt att installera CCS vid en ny kondensanläggning.
- Kostnader har inte analyserats i detta projekt, men är givetvis en viktig parameter att studera parallellt med miljöeffekter för att få en helhetsbild inför kloka beslut.
- Faktorer som påverkar resultaten är bl.a.
  - Val av fallstudieobjekt
  - Antaganden om elverkningsgrader före och efter CCS
  - Antaganden om avskiljningsgrad
  - Antaganden om anläggningarnas storlek
  - Hur emissionerna mellan el och värme allokeras vid kraftvärme
  - Hur värmen värderas vid kraftvärme och hur jämförelsen rättvist kan göras mellan kraftvärme och kondens
  - Hur miljövärderingen av el och värme görs
  - Var avskiljningen sker och vilka möjligheter till lagring som finns
  - Om nya eller befintliga anläggningar studeras
  - Att kolkondensanläggningen har skalats ned till kraftvärmeverkets storlek.

## 5 Referenser

- Alstom et al 2001 (Nsakala, Marion, Bozzuto, Liljedahl, Palkes, Vogel, Guha, Johnson, Plasynski); *Engineering feasibility of CO<sub>2</sub> Capture on an Existing US Coal-Fired Power Plant*, Paper for presentation at First National Conference on Carbon Sequestration, May 15-17, 2001, Washington DC
- Energimyndigheten, 2008; *Koldioxidvärdering av energianvändning. Vad kan du göra för klimatet?* Underlagsrapport, Statens Energimyndighet, 2008
- IEAGHG 2004; *Ship Transport of CO<sub>2</sub>*, IEA Greenhouse Gas Research and Development Programme, Report no PH4/30, juli 2004
- IPCC SRCCS 2005; *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, 2005
- Lindman E-K (2008), personlig kommunikation vid ett flertal tillfällen under 2008.
- McCullum et al 2006; *Techno-Economic Models for Carbon Dioxide Compression, Transport, and Storage & Correlations for Estimating Carbon Dioxide Density and Viscosity*, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, oktober 2006
- Persson, A, Rydstrand, C och Hedenskog, P., 2005. *Allt eller inget – systemgränser för byggnaders uppvärmning*. ÅF Energi och miljö AB.
- Rubin, E.S., A.B. Rao, and C. Chen, 2005: *Comparative Assessments of Fossil Fuel Power Plants with CO<sub>2</sub> Capture and Storage*. Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Volume 1: Peer-Reviewed Papers and Overviews, E.S. Rubin, D.W. Keith and C.F. Gilboy (eds.), Elsevier Science, Oxford, UK, 285-294.
- Uppenberg S, Almemark M, Brandel M, Lindfors L-G, Marcus H-O, Stripple H, Wachtmeister A, Zetterberg L; *Miljöfaktabok för bränslen – Del 2. Bakgrundsinformation och Teknisk bilaga*, IVL-rapport B1334B-2, Maj 2001

### 5.1 Litteraturrekommendationer

- Gode J, Strömberg A, Axelsson U, Särnholm E, Energy Performance Contracting – en modell för minskad energianvändning och miljöpåverkan, Energimyndighetens och Naturvårdsverkets rapport ER2007:35, 2007
- Elforsk 2008; Miljövärdering av elanvändning, Elforsk broschyr, www.elforsk.se
- Engström R, Gode J, Axelsson U; Vägledning till metodval vid beräkning av påverkan från förändrad energianvändning på de svenska miljömålen, IVL B-rapport in prep, 2008
- Sköldberg H(2006); Marginaler och miljövärdering av el, Elforsk rapport 06:52, 2006
- Sköldberg H, Unger T (2008); Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion - Modellberäkningar, Elforsk rapport 08:30, 2008