

# **GACELL**

## **Grön CO<sub>2</sub> för bättre ekonomi & miljö**

Per Wennerberg, TecnoFarm &  
Ola Göransson, Cellma AB

**2012-06-30**

**TECNOFARM**  
Lantbruks & Miljöteknik

**Cellma AB**

**Ola Göransson**  
**Cellma AB**  
**Falkgatan 6**  
**531 34 Lidköping**  
**Tel: 070-672 74 78**  
**E-post: ola.goransson@cellma.se**

**Per Wennerberg**  
**TecnoFarm**  
**Smedjevägen 9**  
**533 73 Källby**  
**Tel: 076-816 41 63**  
**E-post: per.wennerberg@tecnofarm.se**

## Sammanfattning

Syftet med denna förstudie har främst varit att ge en bild över dagens marknad för koldioxid, undersöka möjligheter att tillvarata koldioxid från biogasproduktion samt bedöma marknadsvärdet och ge ett underlag för en eventuellt efterföljande kommersialisering.

Förstudien visar grovt en marknadspotential för koldioxid producerad från biogas av ca 27 000 ton koldioxid årligen i Sverige. Marknadsvärdet vid användningsstället uppskattas till ca 2 kr/kg vilket ger en marknadspotential i Sverige på 54 MSEK.

För att tillvarata potentialen krävs dock utrustning och system för att samla upp gasen, eventuellt rena den, hålla kontroll på kvalitet och föroreningar, distribuera gasen till användningsstället samt eventuellt lagerhålla den i avvaktan på att den skall förbrukas. Kostnaden för dessa utrustningar och system är mycket större än kostnaden för själva gasen och det är genom att minimera dessa som en framgångsrik kommersialisering kan vara möjlig.

Vår analys av dagens marknad visar också att det knappast finns förutsättningar för mindre aktörer, dit Sveriges samtliga biogasanläggningar måste räknas, att konkurrera om stora volymkunder med de stora gasbolag som idag finns på marknaden.

I stället är vår slutsats att det fortsatta arbetet med att söka kommersialisera koldioxid från biogas skall koncentreras på:

1. Användningsområden direkt vid källan i applikationer som inte kräver omfattande extra reningssteg. Sådana applikationer är t. ex pH-reglering i avloppsvatten eller annat vatten ej avsett att drickas eller avgaser från biogasmotorer som leds direkt in i närbelägna växthus eller småskaliga algodlingar.
2. Att ta hand om den avskilda koldioxiden från uppgraderingsanläggningar för biogas vilket bör utvecklas i nära samarbete med tillverkare av uppgraderingsutrustning.

Generellt finns också ett stort behov av att utveckla/vidareutveckla ett utrustningssortiment anpassat såväl beträffande prestanda som kostnad för applikationer som inte kräver koldioxid av livsmedelskvalitet.

## Innehållsförteckning

---

- 1. Inledning**
  - 1.1 Bakgrund
  - 1.2 Syfte
- 2. GACELL – projektbeskrivning**
  - 2.1 Metod
  - 2.2 Genomförande
- 3. CO<sub>2</sub> – specifikation & egenskaper**
- 4. Produktion av CO<sub>2</sub>**
  - 4.1 CO<sub>2</sub> från etanolproduktion
  - 4.2 CO<sub>2</sub> från biogasproduktion
- 5. Användning av CO<sub>2</sub>**
  - 5.1 Växthus
  - 5.2 Slakterier
  - 5.3 Torris
  - 5.4 Kylning med flytande CO<sub>2</sub>
    - 5.4.1 Butikskyla
    - 5.4.2 Kyltransporter
  - 5.5 Brandskydd
  - 5.6 Skadedjursbekämpning
  - 5.7 Skjutvapen
  - 5.8 Vattenrening och pH reglering
- 6. Marknad för CO<sub>2</sub>**
  - 6.1 Allmänt
  - 6.2 Leverantörer
  - 6.3 Leveranssystem
  - 6.4 Applikationsutrustning och system
  - 6.5 Prispbild
- 7. Framtida utvecklingsmöjligheter**
  - 7.1 Växthus
  - 7.2 Algproduktion
  - 7.3 Sanering
  - 7.4 Kylsystem för fordon
  - 7.5 PH-reglering av avloppsvatten
  - 7.6 Uppgradering av biogas
- 8. Ekonomi & lönsamhet**
  - 8.1 Värdekedjan
  - 8.2 Volymer och potentialer
- 9. Slutsatser**
- 10. Referenser**

## 1. INLEDNING

Denna förstudie har finansierats av Leader Västra Skaraborg samt de samverkansparter som tillsammans genomfört projektet. Studien har i huvudsak genomförts och sammanställts av TecnoFarm HB och Cellma AB. Övriga intressenter utgörs av ett stort antal företag och organisationer som deltagit och bidragit med resurser i form av nedlagd tid och faktakunskaper.

### 1.1 Bakgrund

Industriellt tillverkad koldioxid (CO<sub>2</sub>) används idag inom många olika områden t ex växthus, livsmedel, kylning, slakterier, brandskydd, osv... I flera av dessa applikationer skulle en "grön koldioxid" kunna ersätta fossil energi.

Vid produktion av biogas genom rötning av biologiskt material erhålls en rågas huvudsakligen bestående av metan (CH<sub>4</sub>) metan och koldioxid (CO<sub>2</sub>). Halterna varierar beroende på ingående råmaterial och rötprocessens utformning men brukar ligga på ca 2/3 metan och ca 1/3 koldioxid.

Rågasen kan antingen nyttjas för el och värmeproduktion direkt eller uppgraderas till fordonsgas. I båda fallen är det i dagsläget endast metaninnehållet som betraktas är värdefullt medan koldioxiden ses som en biprodukt utan värde. Koldioxiden släpps därför ut i atmosfären. Rågasen innehåller också föroreningar som man behöver ha kontroll över eller ta bort innan gasen kan användas.

Då också dagens lönsamhet, för främst småskaliga biogasanläggningar, är svag kan en extra inkomst från koldioxid vara mycket betydelsefull för totalekonomi och investeringsvilja i ny biogasproduktion. Det finns också uppenbara miljöskäl att tillvarata även koldioxid.

Verksamma aktörer på dagens koldioxidmarknad är industrigasbolag och/eller gasdistributörer. I Sverige är marknaden dåligt utvecklad och antalet leverantörer är mycket begränsat vilket medför osäkerhet kring prisbild och risk för alltför höga priser. Småskalig distribution förekommer knappast och infrastrukturen är svag.

### 1.2 Syfte

Idén med detta projekt har varit att undersöka möjligheter att tillvarata koldioxid och bedöma kostnader och marknadsvärdet samt titta på möjliga lokala användningsområden. Förstudien har också syftat till att kartlägga och initiera en samverkan mellan främst lokala aktörer för att möjliggöra en kommersialisering efter studien.

## 2. GaCell - Projektbeskrivning

### 2.1 Metod

Projektet har utförts främst genom

- Litteraturstudier
- Dialog med olika intressenter i form av telefonsamtal, besök eller andra möten.
- Studiebesök
- Mässbesök och studier av produktkataloger och annan information
- Insamling av statistik och egna analyser och beräkningar

## 2.2 Genomförande

Under projektet har en enkel men väl beprövad arbetsmetodik i fyra faser följts.

### **Fas A, Projektinitiering**

Inledande kontakter o möten har hölls i syfte att samordna och stämma av projektets innehåll med olika intressenter och projektdeltagare. De bestämdes att fokusera förstudien mot att:

- Kartlägga och söka kvantifiera lokala källor till grön koldioxid i närområdet. (Skaraborg)
- Översiktligt kartlägga dagens prisbild och marknadsförutsättningar att saluföra koldioxid.
- Samla information och kunskap kring användning av koldioxid i syftet att finna lämpliga tekniska applikationer där grön lokalproducerad koldioxid skulle kunna nyttjas relativt snabbt.
- Fördjupa analysen, göra studiebesök och försöka finna en "minsta möjliga startpunkt" där tekniska och ekonomiska förutsättningar för en kommersialisering kan finnas.

### **Fas B. Utredning, insamling av information/detaljerat underlag.**

Under denna fas inhämtades information om nuläge, kontakter togs och besök gjordes på befintliga biogasanläggningar i närområdet.

Även Lantmännens etanolproduktionsanläggningar såväl i Lidköping (Reppe) som Norrköping (Agroetanol) besöktes. Anläggningen i Norrköping är idag Sveriges enda riktigt storskaliga etanolproduktionsanläggning och är ca 10 ggr större än anläggningen i Lidköping. Vid Lantmännens etanolanläggningar produceras stora mängder grön koldioxid som f.n. inte nyttjas.



Agroetanol Norrköping, juni 2011

Processpunkt där all koldioxid passerar



Möjlig koldioxidvolym från Agroetanol motsvarar ungefärligen den hela den volym koldioxid som idag saluförs i Sverige. (muntlig uppgift från Lantmännen energi)

Under 2012 har Lantmännen Agroetanol och AGA Gas inlett ett samarbete i syfte att starta koldioxidproduktion i stor skala i Norrköping.

Dialog fördes också med samtliga av oss kända leverantörer av biogasuppgraderingsutrustning som är verksamma i Sverige. Dialog fördes även med flera som (ännu) inte är etablerade i Sverige.

Det framkom bl a att den Holländska teknik för kryogen uppgradering (Leverantör, GtS) som använts i Sundsvall för att producera flytande biogas (LBG) samt flytande koldioxid (LIC) som vi tittat på innan denna studie inleddes hade stora tekniska problem och inte fungerar tillfredställande. Detta gjorde att planerade studiebesök inte genomfördes i enlighet med ursprunglig plan samt att kalkyler och beräkning av tillgång på flytande koldioxid förändrades.

Kontakter har sedan också tagits med ett nytt svenskt projekt (Biofrigas) för utveckling av småskalig kryogen uppgradering av biogas till flytande metan för att utreda hur koldioxiden kan tas till vara i detta system. Tekniken ser i detta avseende lovande ut men då man skall försöka bygga den första testanläggningen under hösten 2012 rymdes inte detta inte inom projektets tidsram.

Ett antal användare av koldioxid kontaktades också och flera besöktes där applikationer studerades och priser, leveransformer och distributionslösningar gick igenom. Några av de koldioxidapplikationer som vi studerade var:

Torr is produktion – med efterföljande användning av torr-is för blästerändamål. Besök och diskussion hos Cryotech i Skövde.

*Utrustning för produktion av torr is  
utifrån flytande koldioxid*



Brandskydd – koldioxid fylls i brandsläckare.

Ett mindre konsultarbete kring detta handlades upp. Priser och leveransvillkor gick igenom och stämades av med flera företag.

Växthus – tillförsel av koldioxid som "gödselmedel"

Diskussioner fördes med flera grönsaksodlare dels kring teknik men också kring priser och vilka volymer som används.

Slakterier – koldioxid används idag för att söva ned djuren innan slakt. Kontakter med slakterier gav en uppfattning om volymer priser och tekniska specifikationer.

Sanering – Vid sanering mot skadeinsekter används flytande koldioxid som både dödar insekterna med kyla och kvävning utan att lämna märken eller ge långa karenstider efter behandling p.g.a. giftiga kemikalier. Vid ett besök hos Anticimex demonstrerades utrustningen och behandlingsmetoderna.



*Exempel på koldioxidapplikation  
Anticimex utrustning för bekämpning av skadedjur där  
koldioxid ersätter giftiga kemikalier.*

### Livsmedel

En mindre utredning kring detta gjordes av en extern konsult. Priser o volymer diskuterades med några större livsmedelsföretag. Noterades dock att livsmedelskvalitet inte utgör detta projekts primära mål.

### Kyltransporter

I Skaraborg finns ett tankställe för flytande CO<sub>2</sub>. Erfarenheter från de åkerier som använder detta tankställe inhämtades. Leverantörer av kylutrustningar för koldioxid kontaktades och översiktlig litteratur/datasökning över tänkbara utländska sådana gjordes. Ett besök hos Thermoking (leverantör av kylaggregat till fordon) gjordes också.

Torris används även allmänt vid transport av frysta produkter varför vi även tog kontakter med aktörer inom detta segment.

Tvätter – System för tvätt av kläder med koldioxid som ett miljövänligt alternativ till kemtvätt har tagits fram av bl.a. svenska AGA. Vid kontakter med produktansvariga på AGA visade det sig att man idag bara har begränsad verksamhet i Tyskland och Danmark då kemtvättsmarknaden är svår att påverka.

Algodling – Vid odling av alger är koldioxid en viktig växtnäring som tillförs i vattnet. Litteraturstudier gjordes och kontakter togs med SP i Borås där erfarenhet och expertis inom algodling finns. Ett studiebesök hos ett företag i Holland som använder avgaserna en gasmotor på en gårdsbaserad biogasanläggning för en intilliggande kommersiell algodling planerades o genomfördes senare i projektet.

Resultatet av de kontakter som togs och de data och fakta som inhämtades analyserades och sammanfattades kortfattat i följande punkter som de mest intressanta att gå vidare med:

1. Direkt avsättning av grön koldioxid från biogasmotor eller biogasuppgradering utan omfattande ytterligare rening.
2. Fördjupad analys av krav på kvalitetsnivåer vs kostnad och tekniska möjligheter att nå dessa vid olika applikationer.

### ***Fas C. Prioritering och fördjupad analys***

En projektidé kring att använda koldioxid från småskaliga biogasanläggningar som råvara vid odling av mikroalger diskuterades fram och en grupp intressenter (9 st) konkretiserade tankarna och vidareförde detta till en projektansökan hos Vinnova.  
(*Not - Tyvärr övertecknades utlysningen kraftigt och ansökan fick avslag*)

Under arbetet med att utveckla projektidén etablerades många viktiga kontakter och flera litteratursökningar genomfördes. Antalet artiklar, rapporter och annan dokumentation som publicerats kring algodling är mycket stort. Det pågår också väldigt många och omfattande forskningsprojekt och utvecklingsarbeten runt om i världen. Vi avgränsade studien och sökte direktkontakt med några småskaliga aktörer som vi fann.

Vi valde ut en av dessa, Algae Food & Fuel i Nederländerna för ett studiebesök.



Studiebesöket vid Algae Food & Fuels anläggning i Nederländerna gjordes i november 2011. Algae Food & Fuel har ett komplett koncept där rökgaserna från en biogasmotor används som råvara vid odling av mikroalger. Algerna skördas, torkas och används som fodertillskott. Processen och tekniken drivs kommersiellt och lönsamt om än i relativt blygsam skala.

### **Processen hos Algae Food & Fuel**



Reaktor med LED belysning

Anrikning o skörd

Torkning

Inblandning av salt

Ett flertal fördjupade kontakter togs också med olika utrustningsleverantörer inom Biogasområdet. I samband med studieresan till Holland besöktes också Agritechniq mässan i Hannover.

För komma fram till var/hur en småskalig användning av koldioxid från en svensk biogasanläggning kan komma igång förbereddes också en provtagning och analys av rökgaser från gasmotorer vid två av de anläggningar som Götene Gårdsgas byggt. Då omfattningen av dessa analyser krävde en ordentlig förberedelse och genomgång och då samtidigt projektiden gick mot sitt slut gjordes dock bedömningen att det skulle bli svårt att med god kvalitet hinna genomföra och analysera resultatet av dessa. Då kostnaden också visade sig vara av sådan omfattning att den nätt o jämnt rymts i projektets budget beslutades att inte fullfölja denna aktivitet inom förstudien.

### **Fas D. Redovisning, avslutning av förstudien**

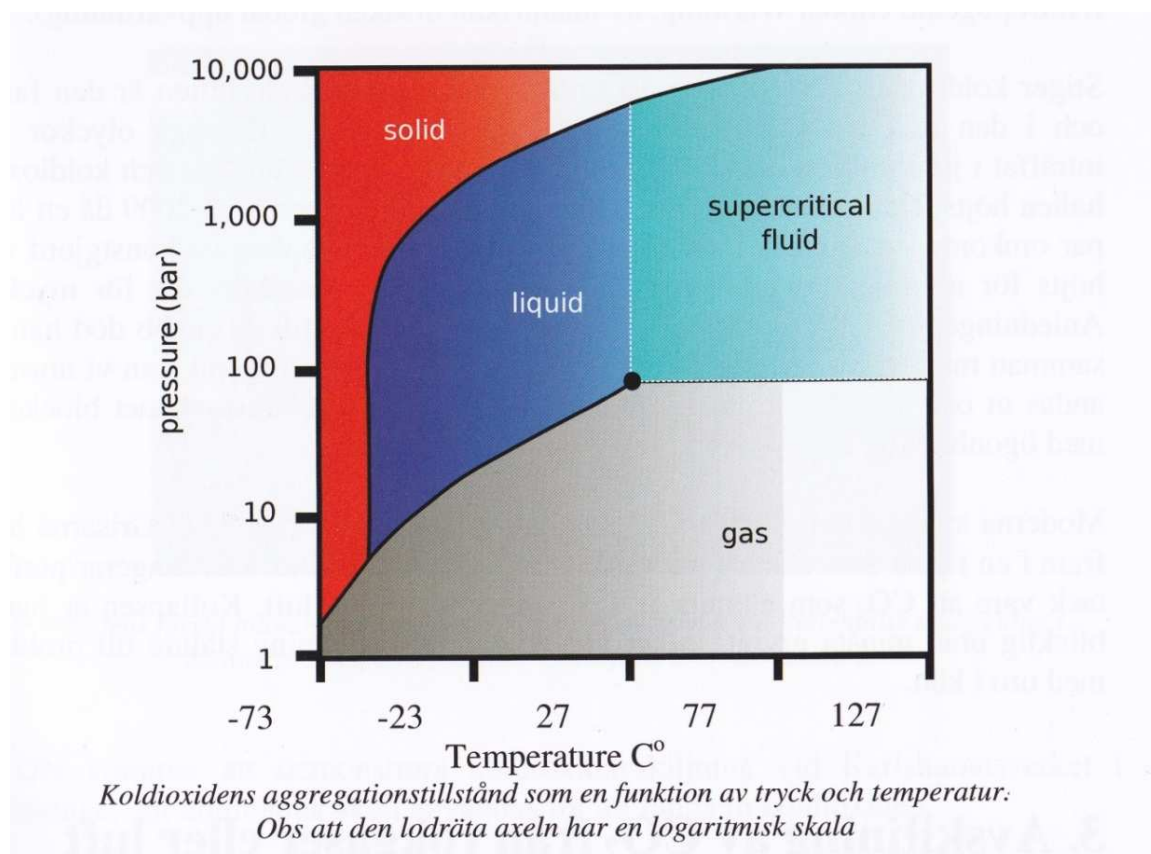
Dokumentation och redovisning av förstudiens genomförande, resultat och måluppfyllande är sammanställt i denna rapport samt i övriga redovisning (främst ekonomisk) som sänds till Leader Västra Skaraborg. Framkomna resultat har också gått igenom i projektgruppen och fortsättning av projektet efter avslutat förstudie har förberetts.

## **3. CO<sub>2</sub> – specifikation & egenskaper**

Koldioxid (CO<sub>2</sub>) är en färglös och luktfri gas som inte är giftig. CO<sub>2</sub> i gasform (vid 0 °C & 1013 mbar) har densiteten 1,98 kg/m<sup>3</sup> och är därmed 1,5 gånger tyngre än luft. Kokpunkten vid normalt atmosfärstryck är -78,5 °C. Vill man förvara CO<sub>2</sub> i flytande form vid +25 °C krävs ett övertryck på minst 67 bar. Molekylen är rak och består av en kolatom omgiven av två syreatomer. Vid låg temperatur övergår gasen till fast tillstånd, så kallad kolsyresnö eller torris. Vid normalt tryck sublimerar kolsyresnö direkt till gasform.

Koldioxid är tung, kvävande och mycket svår att få att reagera. Vid inandning i höga koncentrationer får man en sur smak i munnen och en stickande känsla i hals och svalg eftersom gasen löser sig i saliven och bildar kolsyra. Normal utomhusluft innehåller 350-450 ppm CO<sub>2</sub>. Enligt det svenska Arbetsmiljöverket är maximal koncentration av CO<sub>2</sub> under en åttatimmars arbetsdag 5000 ppm men för att säkerställa god komfort och ventilation i rum brukar en max koncentration på 1000 ppm rekommenderas.

Koldioxid är en lömsk gas. Den kan verka kvävande eftersom den kan förtränga syret i stängda utrymmen men den är ofarlig i mindre mängder (vi andas ut CO<sub>2</sub>) - men vid för hög koncentration är den livsfarlig. Eftersom gasen är luktfri går den inte att upptäcka utan mätinstrument och många dödsolyckor har inträffat bl.a. i ölkällare där öl/läsk förvaras i tunnor och CO<sub>2</sub> används som drivgas. Även i andra slutna utrymmen (växthus, mm) där koldioxid tillsätts eller där förbränning sker, måste koldioxidnivån kontrolleras.



En superkritisk vätska är ett ämne som befinner sig under så högt tryck och temperatur att fasgränsen mellan vätska och gas har försvunnit. Den tryck- och temperaturpunkt ovanför vilken superkritiska vätskor bildas kallas den termodynamiska kritiska punkten. När förhållandena närmar sig den kritiska punkten, blir gasfasens densitet allt närmare vätskefasens tills dessa inte längre går att skilja åt. En process som utförs bortom den kritiska punkten kallas en superkritisk process.

Vid över +31 grader Celsius och 75 atmosfärens tryck befinner sig koldioxid i ett märkligt tillstånd som kallas superkritiskt. Superkritiska vätskor har den unika förmågan att diffundera genom fasta material som en gas men även lösa upp ämnen som en vätska. Dessutom kan ämnets densitet regleras genom temperatur- och tryckändringar. Sådan koldioxid är extremt

lättflytande, och eftersom den nästan helt saknar ytspänning tar den sig in i skrymslen som få andra lösningar klarar. Det här gör superkritiska vätskor lämpliga som lösningsmedel i vissa sammanhang.

Inom både miljö- och livsmedelsindustrin har man börjat utnyttja dessa egenskaper. Med hjälp av superkritisk koldioxid går det t.ex. att avskilja koffein ur kaffe, få bort dioxiner ur fiskolja och avlägsna PCB ur mineralolja. Superkritisk CO<sub>2</sub> används idag även som ett miljövänligare alternativ för kemtvätt av textilier och kläder.

### Renhet

Idag säljs bara CO<sub>2</sub> av livsmedelskvalitet på den svenska marknaden. Men för många applikationer kan man ifrågasätta om denna höga gaskvalitet behövs.

Den mest kritiska gasen i biogas som måste minimeras är svavelväte (H<sub>2</sub>S) där det hygieniska gränsvärdet i luft är 10 ppm. I den orenade biogasen kan H<sub>2</sub>S halterna vara 1000-5000 ppm. Därför måste CO<sub>2</sub> från biogasproduktionen renas mycket noggrant till max 10 ppm H<sub>2</sub>S med olika filter om den skall kunna användas kommersiellt. H<sub>2</sub>S halter

Telefonvägledning från Livsmedelsverket gav följande information<sup>1</sup>:  
Enligt Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1333/2008 gäller:  
Minst 99 % vikt/vol. beräknat på gasinnehåll.

### **Renhetsgrad**

Syra	915 ml gas som bubblas genom 50 ml nykokt vatten får inte göra vattnet surare med metylorange som indikator än 50 ml nykokt vatten till vilket tillsatts 1 ml 0,01M klorvätesyra
Reducerande ämnen, vätefosfid och vätesulfid	915 ml gas som bubblas genom 25 ml ammoniakalkaliskt silvernitratreagens med tillsats av 3 ml ammoniak får inte orsaka grumling eller svärtning av denna lösning
Kolmonoxid	Högst 10ml/l
Olja	Högst 5 mg/kg <sup>2</sup>

<sup>1</sup> <http://www.slv.se/sv/grupp2/Lagstiftning/Gallande-lagstiftning/Livsmedelstillsatser/>

<sup>2</sup> Ändrad genom förordning (EU) nr 238/2010

CO <sub>2</sub> Specification	Food Grade CO <sub>2</sub>	
Parameters	LPE #	Units
<b>Composition</b>		
CO <sub>2</sub> Purity	≥ 99.9%	v/v
<b>Moisture Content</b>		
H <sub>2</sub> O	≤ 20	ppm v/v
Dew point		
<b>Non Condensable Gases</b>		
N <sub>2</sub>	Nothing	
O <sub>2</sub> + Ar	≤ 30	ppm v/v
Dissolved O <sub>2</sub>	< 5	ppm v/v
<b>Trace Impurities</b>		
Carbon monoxide (CO)	≤ 10	ppm v/v
Total volatile Hydrocarbons (measured as CH <sub>4</sub> )	≤ 50	ppm v/v
Total Hydrocarbons excluding CH <sub>4</sub> (C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub> )	≤ 20	ppm v/v
Non Volatile residue	≤ 10	ppm v/v
Non Volatile organic	≤ 5	ppm v/v
Volatile Mercaptans, Sulfides, Disulfides	Nothing	
1,3 Butadiene		
Ammonia	≤ 2.5	ppm v/v
Heavy Hydrocarbon (C <sub>2</sub> +)		
Ethylene Glycol	Nothing	ppm v/v
Aromatic hydrocarbon content (Benzene)	≤ 0.02	ppm v/v
Unsaturated Hydrocarbons	Nothing	ppm w/w
Oil and Grease (NVOC)	1.6	ppm w/w
NOX (NO + NO <sub>2</sub> )	≤ 2.5	ppm v/v each
HCN (coal gasification only)	≤ 0.5	ppm v/v
Phosphine (phosphate source only)	≤ 0.3	ppm v/v
Vinyl Chloride	Nothing	
Ethylene oxide	Nothing	
Other volatile oxygenates	Nothing	
Acidity test (Jecfa)	To past the test	
Hydrogen sulfides, other organic reductive substances		
(JECFA)	To past the test	
COS	≤ 0.1	ppm v/v
Total sulfur	≤ 0.1	ppm v/v
SO <sub>2</sub>	≤ 1	ppm v/v
H <sub>2</sub> S	≤ 0.1	ppm v/v
<b>Volatile Oxygenated hydrocarbons</b>		
Acetaldehyde (fermentation source only)	≤ 0.2	ppm v/v
Alcohols		
Acetone		
Ethyl Acetate		

Exempel på specifikation för livsmedelskvalitet på CO<sub>2</sub>

#### 4. Produktion av CO<sub>2</sub>

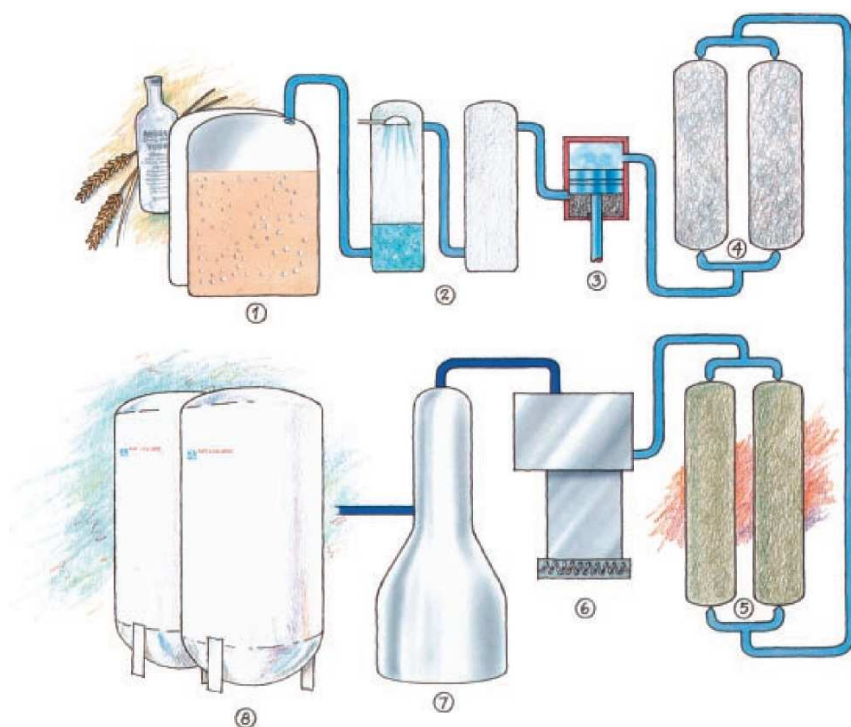
Dagens kommersiella produktion kommer huvudsakligen som en biprodukt från den petrokemiska industrin. Denna produktion är m.a.o. baserad på fossila bränslen.

Det finns en också en viss produktion av "grön" CO<sub>2</sub> från etanolproduktion i Sverige.

## 4.1 CO<sub>2</sub> från etanolproduktion

En källa till grön koldioxid är biologiska jäsprocesser – t ex vid etanolproduktion. Den koldioxid som bildas vid jäsningen samlas upp och renas i flera steg, komprimeras och lagras i flytande form.

Figuren nedan är hämtad från Air Liquides hemsida och beskriver översiktligt processen som används vid Air Liquids båda koldioxidfabriker i Skåne men skulle i princip kunna beskriva även andra koldioxidfabriker.



- 1. Jästankar.**  
Uppsamling av rågas ca 98 %
- 2. Vattenskrubbar.**  
Gasen tvättas från föroreningar
- 3. Kompressor,**  
Tryckhöjning 12 bar.
- 4. Aktivt kolfilter**  
Ytterligare rening
- 5. Torkfilter**  
Fukt avskiljs
- 6. Kylning**  
Omvandling till flytande form, -35 °C
- 7. Destillationskolonn**  
Avskiljning av inerta gaser främst N<sub>2</sub>
- 8. Lagringstank**  
Flytande koldioxid 99,9 %, 12 bars tryck, -35 °C

Källa: [www.airliquide.se](http://www.airliquide.se)

Det finns också planer i Sverige för en storskalig produktion av CO<sub>2</sub> från Lantmännen Agroetanol's anläggning i Norrköping. Denna produktion skall ske i samarbete med AGA som även skall stå för marknadsföring och försäljning. Produktionsstart är planerad till 2013.

## 4.2 CO<sub>2</sub> från biogas

Obehandlad biogas från en rötchammare har normalt följande innehåll:

Gas	Volymandel
Metan	50-75 %
Koldioxid	50-25 %
Vattenånga	2-7 %
Syre	0-1 %
Kväve	0-5 %
Väte	<1 %
Svavelväte	1000-5000 ppm

I dagsläget är det endast metanets energiinnehåll som har ett marknadsvärde vid produktion av el, värme och fordonsgas. Kan den stora andelen CO<sub>2</sub> också säljas så ökar biogasproduktionens lönsamhet och möjliggör fler investeringar speciellt inom lantbruksbaserad biogasproduktion.

Det finns i huvudsak två sätt att utnyttja biogasens CO<sub>2</sub>:

1. Att använda avgaserna från förbränning av biogas i brännare, pannor eller gasmotorer.
2. Att ta tillvara den CO<sub>2</sub> som separeras vid uppgradering av biogasen till biometan för t.ex. fordonsgas (min 97 % metan).

## 5. Användning av CO<sub>2</sub>

Det finns idag förvånansvärt många användningsområden för CO<sub>2</sub>.

Användningsområde	Krav på Livsmedelskvalitet
Gödsling i växthusproduktion	Nej
Sövning av djur vid slakt	Nej
Öppna kylsystem för fordon	Nej
Slutna kylsystem i butiker m.m.	Nej
Brandsskyddssystem	Nej
Torris för blästring	Nej
Gasdrivna skjutvapen (t.ex. paintball)	Nej
PH-reglering av avloppsvatten	Nej
PH-reglering av dricks & badvatten	Ja
Kolsyrning av drycker	Ja
Konservering av livsmedel	Ja
Kylning av livsmedel med torris	Ja
Torris för kyltransporter	Ja
Tvättning av textilier & kläder	Ja
Lösningsmedel för extrahering av olika ämnen	Ja

Eftersom vi i detta projekt har valt att lägga fokus på en kostnadseffektiv produktion av CO<sub>2</sub> från biogasproduktion så prioriterar vi användningsområden där det inte krävs livsmedelskvalitet på koldioxiden.

### 5.1 Växthus

Vid kommersiell växthusproduktion är det idag standard med gödsling med CO<sub>2</sub> upp till max 1000 ppm, detta kan öka produktionen upp till 30 % för t.ex. gurka, tomat och sallad. En normal tillförsel av CO<sub>2</sub> som håller en nivå på 400-600 ppm i växthuset ger i genomsnitt ca 10 % skördeökning om övriga tillväxtfaktorer är optimala.

I moderna växthus optimeras doseringen av CO<sub>2</sub> automatisk med hjälp datoriserade system med hänsyn till grödor och olika klimatförhållanden.

Ett allt vanligare sätt att gödsla med CO<sub>2</sub> är att förbränna naturgas direkt inne i växthuset därmed fås både värme och CO<sub>2</sub> från förbränningsgasen. Det är viktigt att använda brännare som ger låga värden av kväveföreningar (NO<sub>x</sub>), CO och andra oförbrända kolväten då dessa är skadliga för växterna. Därför rekommenderas s.k. låg-NO<sub>x</sub> brännare.

Det är också mycket viktigt att hålla etylenhalten (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) på en mycket låg nivå då denna gas är skadlig för växterna. Etylenhalten är normalt proportionell mot halten kolmonoxid (CO) då den uppstår vid ofullständig förbränning. Ett värde på 25 ppm CO i utspädd rökgas skall inte överskridas för att säkerställa både etylenhalten för växter och den för människor och djur giftiga kolmonoxiden (CO). Detta övervakas lämpligen kontinuerligt med ett mätsystem som stänger av tillförseln vid för höga värden.

Avgaserna från gasdrivna kolmotorer ger förhållandevis höga halter av NO<sub>x</sub> och oförbrända kolväten som CO. Därmed riskerar även etylenhalten att bli för hög. Därför måste avgaserna renas och/eller spädas ut innan de leds in i växthuset. Det finns katalysatorsystem på marknaden som reducerar dessa utsläpp till acceptabla nivåer. Fördelen med kolmotorer är att de ger en relativt hög elverkningsgrad på 30-40 %.

T.ex. visar danska försök 1996 med gasmotorer i naturgasdrift på goda resultat med ett ureabaserat katalysatorsystem för gödsling med CO<sub>2</sub> från avgaser (Rapport SGC 069).

Gasturbiner ger renare avgaser som normalt kan användas i växthusen direkt utan rening eller utspädning. Mindre gasturbiner har dock en lägre verkningsgrad på 20-30% vid elproduktion varför man får mer värme som man måste ha användning för om inte lönsamheten skall påverkas negativt.

Mätvärden från en installation av en mikroturbin i ett skåniskt växthus 2002 bekräftade att avgaserna från drift med naturgas går att använda direkt in växthuset utan speciell rening.

#### Tekniska data för Turbec T100 mikroturbin vid naturgasdrift i ett växthus:

Eleffekt	100 kW
Värmeffekt	167 kW
Gaseffekt	333 kW
Elverkningsgrad	30%
Total verkningsgrad	>80%
NO <sub>x</sub>	<15 ppm vid 15% O <sub>2</sub>
CO	<15 ppm vid 15% O <sub>2</sub>
Oförbrända kolväten	<10 ppm vid 15% O <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub>	≈1,5%
Varvtal	70 000 rpm

\*180 kW för den aktuella installationen  
(Källa: SGC Gasnytt 2-02)

För att undvika att tvingas kyla bort överskottsvärme vid perioder där CO<sub>2</sub> behovet är stort och behovet av värme är litet kan ett ackumulatorsystem användas. Då lagras värmen till perioder då värmebehovet är stort men CO<sub>2</sub> behovet litet.

#### **Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden om källan är avgaser**

Ämne	Gränsvärde ppm
CO <sub>2</sub>	5000 (10 000*)
CO	20
NO	25 (50*)
NO <sub>2</sub>	1
Etylen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	250 (1 000*)

\* Kortidsgränsvärde

**Ungefärlig skadetröskel för plantor och växter**

Ämne	Kortidsgränsvärde ppm	Långtidsgränsvärde ppm
CO <sub>2</sub>	1500	≈ 1 200
CO	2000-2400	-
NO	1,0	0,25
NO <sub>2</sub>	06	01
Etylen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0,05	0,008

Vid växthusproduktion tillförs normalt 1,0-4,0 kg CO<sub>2</sub>/1000 m<sup>2</sup> växthus, timme.

Årsförbrukningen av CO<sub>2</sub> i ett växthus är ca 5-10 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

En total svensk växthusareal på 2 657 000 m<sup>2</sup> (SJB 2008) ger då en marknadspotential på 13 285 – 26 570 ton CO<sub>2</sub>/år.

**5.2 Slakterier**

Idag används CO<sub>2</sub> vid slakterier för att söva djur inför slakten. Djuren drivs då ned i ett "dike" fyllt med CO<sub>2</sub> där de somnar in p.g.a. syrebrist och utslagning av andningssystemet. Metoden ger en lugn slakt.

CO <sub>2</sub> förbrukning vid slakt		Antal	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
		SJV 2009	kg /djur	ton/år
Summa nötkreatur	Slaktade hela kroppar 1 000-tal	460,42	2	921
<b>Svin</b>	<b>Slaktade hela kroppar 1 000-tal</b>	<b>2969,69</b>	<b>1</b>	<b>2 970</b>
Häst	Slaktade hela kroppar 1 000-tal	3,81	2	8
Lamm	Slaktade hela kroppar 1 000-tal	220,89		
Får (inkl. lamm)	Slaktade hela kroppar 1 000-tal	254,67	1	255
Summa				<b>4 153</b>

Den totala potentialen för CO<sub>2</sub> till svenska slakterier bedöms till 3000 ton/år.

**5.3 Torris**

Torris eller kolsyreis består av CO<sub>2</sub> som är nedkyld till under -78 °C under atmosfärstryck. När isen smälter övergår den fasta torrisen direkt till gasform utan att bilda någon vätska. Detta kallas även sublimering.

Torris används allmänt som kylmedium för transporter samt för snabbkyllning genom inblandning i t.ex. livsmedel. Dessa applikationer kräver CO<sub>2</sub> av livsmedelskvalitet.

Torrisen lämpar sig väl för blästring där den jämfört med konventionell blästringssand inte ger några problem med damm eller uppsamling av förbrukad sand. Då denna torris inte behöver vara av livsmedelskvalitet är den intressant för CO<sub>2</sub> från biogasproduktion.

Den totala marknadspotentialen för CO<sub>2</sub> till torris för blästring bedöms till 100 ton/år



## 5.4 Kylning med flytande CO<sub>2</sub>

Flytande eller Koldioxid kan användas som kylmedia i olika system som t.ex.

- Kyltransporter i fordon
- Mobila kioskföretag (t.ex. sportevenemang & festivaler)
- Mobila kylcontainersystem
- Växthusproduktion (kombinerad CO<sub>2</sub> gödsling & kylagring)
- Kylsystem i t.ex. livsmedelsbutiker och byggnader

CO<sub>2</sub>, koldioxid (vid 1 bar):

Temperatur:	- 78,5 °C
Täthet:	1,8492 kg/m <sup>3</sup> (vid 15 °C)
Kylkapacitet vid 1 bar, - 50°C:	311 kJ/kg
Kylkapacitet vid 1 bar, 0°C:	377 kJ/kg

Källa: [www.yarapraxair.se](http://www.yarapraxair.se)

### 5.4.1 Butikskyla

Dagen nya s.k. 3:e generation kylsystem för CO<sub>2</sub> är ett transkritiskt system som arbetar vid höga tryck (max. 80 bar). Dessa system introduceras idag som miljövänlig kyla till framför allt butiker och kylager. Gen om en hög verkningsgrad och effektiv värmeåtervinning påstås dessa system ge en lägre driftskostnad än med traditionella kylmedium som t.ex. R404.

I dagsläget finns det i Sverige ett 10-tal större butiker som använder dessa system. T.ex. har TESAB-Gruppen satsat på direktverkande CO<sub>2</sub> baserad miljövänlig butikskyla

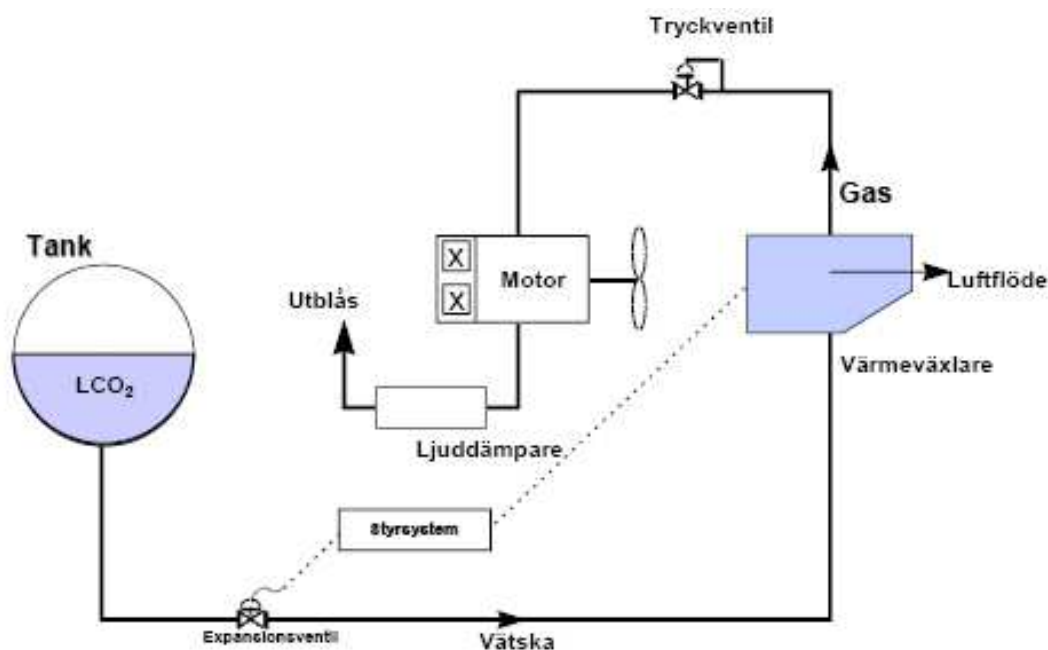
Även om dessa system är slutna så är det osäkert om något annat än CO<sub>2</sub> av livsmedelskvalitet kommer att godkännas i en anläggning som berör livsmedel. Därför ser vi här i dagsläget ingen marknaspotential för CO<sub>2</sub> från biogasproduktion.

### 5.4.2 Kyltransporter

Ett användningsområde för flytande koldioxid är i kyltransporter av t.ex. livsmedel. I dag är nästan alla kylaggregat dieseldrivna med flourkolvätebaserade kylmedier. Miljöbelastningen från dessa aggregat är bl.a. buller, avgasemissioner samt risk för läckage av köldmedia till omgivningen.

Genom att använda den flytande koldioxiden från biogas kan förnyelsebar koldioxid användas för att ersätta diesel.

Koldioxidaggregatet använder kylan i flytande koldioxid. På lastbilen finns koldioxiden i en tank vid ca 8 bar och – 55 °C. Koldioxiden kyler luften i lastutrymmet via en värmeväxlare och ventileras sedan ut över taket på lastbilen, se figur nedan. I värmeväxlaren expanderar koldioxiden och absorberar värme till dess att luften i lastutrymmet har nått önskvärd temperatur.



Schematisk bild av ett aggregat för koldioxidkylning av kyltransporter (Thermoking)

Det finns i huvudsak två sätt att fylla/tanka koldioxidaggregaten:

- Förbrukaren har en egen koldioxidtank på tomten.
- Publika tankställen.

Våren 2007 fanns det ca 70 kylaggregat i Sverige. Användare är bl.a. Milko, Arla, ICA och Skånemejerier. Enligt användarna är det största hindret för en storskalig satsning på koldioxidaggregat att infrastrukturen inte är utbyggd.

#### CT-15 Spectrum



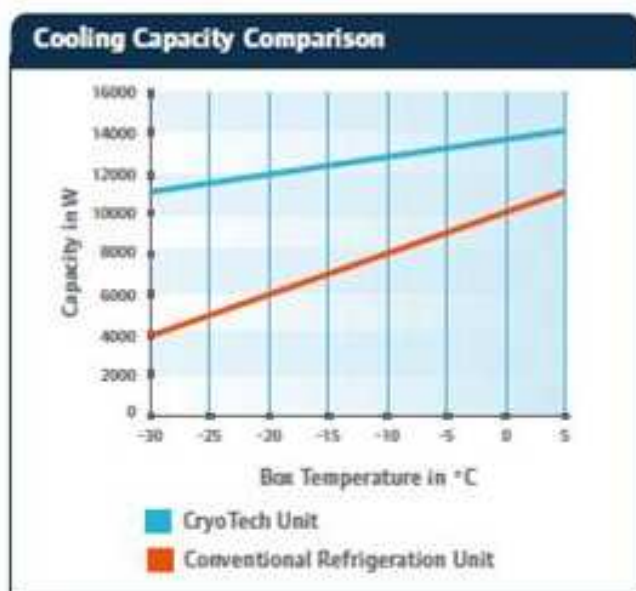
Exempel på trailer för kyltransporter med koldioxidaggregat (Thermoking)

Våren 2007 fanns det sex stycken publika tankstationer för flytande koldioxid i Sverige och ytterligare tre stycken planerades. Den flytande koldioxiden i dessa stationer är återvunnen och levereras och säljs av AGA.

Fyllningen av flytande koldioxid går till så att två slangar kopplas till biltanken. En slang för vätska och en för gas. Slangarna trycksätts eftersom flytande koldioxid bildar snö om trycket sjunker under 5 bar, och snön kan bli en ispropp. När slangarna har trycksatts börjar tanken att fyllas och gasen från tanken (förångad koldioxid) evakueras ut i atmosfären. När fyllningen är klar är det viktigt att ingen vätska finns kvar och att det är trycklöst i systemet som skall kopplas bort.

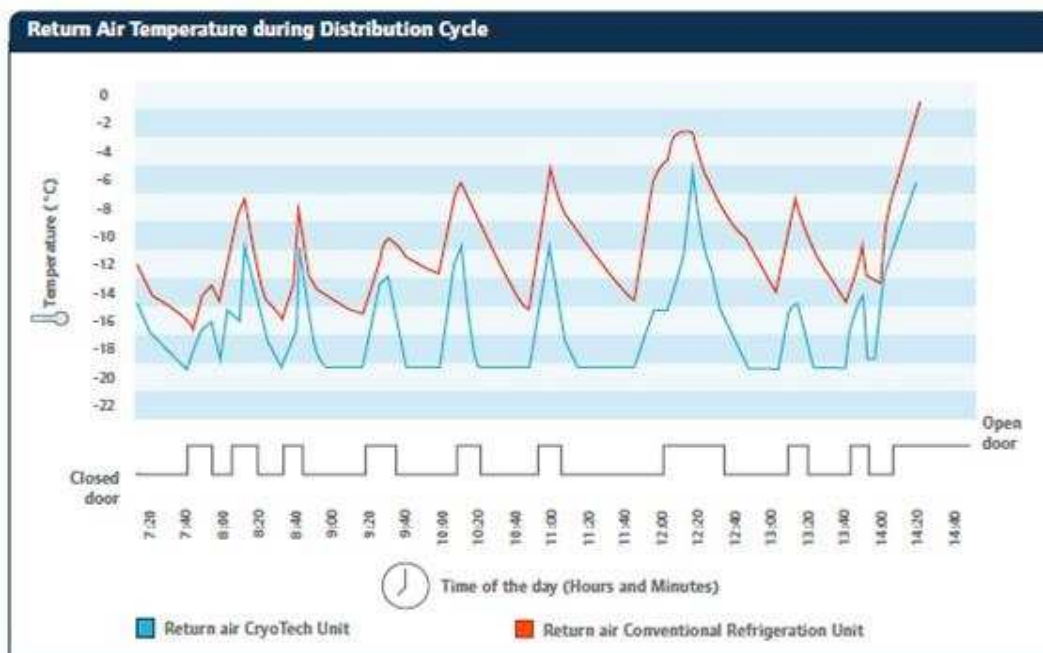


Tankställe för flytande koldioxid (källa: AGA)



Detta diagram visar att kyleffekten är högre för CO<sub>2</sub> aggregat jämfört med konventionella aggregat speciellt vid lägre djupfrysningstemperaturer (källa: Thermoking)

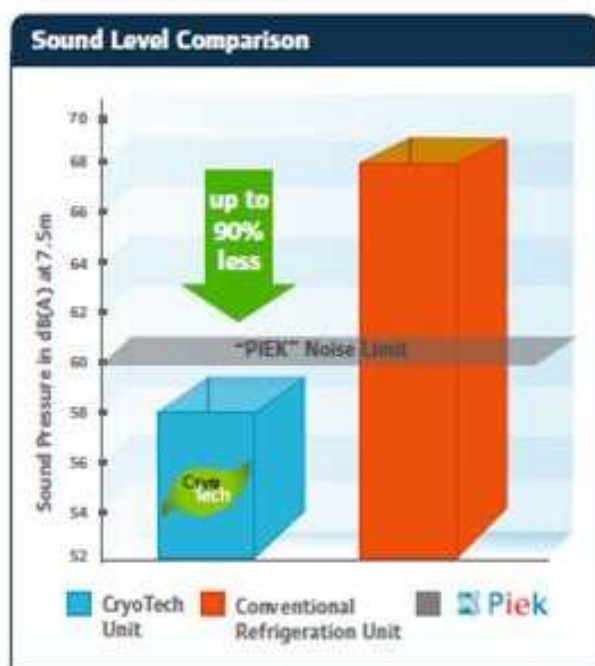
## Temperature Control



Exempel som visar att CO<sub>2</sub> kyla är effektivare vid kyltransporter där med många stopp där dörrarna öppnas ofta (källa: Thermoking)

Status för kyltransporter i Sverige 2010:

- Ca. 100 bilar i Sverige med CO<sub>2</sub> kylning idag
- Goda erfarenheter från befintliga system speciellt för distributionsbilar i städerna
- Endast AGA leverantör av CO<sub>2</sub>för fordonskylning
- Brist på tankställen
- Endast Thermo King leverantör av CO<sub>2</sub> kylaggregat för transportfordon
- För höga priser på CO<sub>2</sub> och kylaggregat
- Dålig information och utbildning ger felaktigt handhavande som ger för hög förbrukning av CO<sub>2</sub>
- Måttligt intresse från Thermo King att öka försäljningen då CO<sub>2</sub> aggregat kräver minimal service och därmed ger mindre inkomster än dieselaggregat
- Vilka andra tillverkare finns av CO<sub>2</sub> aggregat för lastbilar?
- Stort intresse från många kyltransportföretag om de totala driftkostnaderna blir i nivå med dieselaggregat



En stor fördel med CO<sub>2</sub> aggregat för kylfordon är den mindre än hälften så höga ljudnivån vid parkering (källa: Thermoking)

#### Fördelar med CO<sub>2</sub> kyla:

- Upp till 90% lägre ljudnivå jämfört med dieseldrivna kylaggregat
- Inga avgaser bara CO<sub>2</sub> släpps ut
- Inga flourvätebaserade kylmedel som kan skada ozonskiktet
- Får rörliga delar ger lång livslängd & låga underhållskostnader
- Högre kyleffekt är en stor fördel vid täta stopp & dörröppningar
- Miljövänligt minskar utsläppet av växthusgaser

#### Nackdelar med CO<sub>2</sub> kyla:

- Få tankställen
- Höga priser på CO<sub>2</sub> med livsmedelskvalitet
- De flesta kyltransporterna är kombinerade frys och kyltransporter där kyldelen behöver uppvärmning på vintern vilket kräver motorvärme alt. extra värme aggregat

Ett koldioxidaggregat förbrukar ca 10-20 kg CO<sub>2</sub>/tim. Driftstiden varierar mellan 1200-3000 timmar per år. Om dagens 100 aggregat körs 2000 tim/år och förbrukar 15 kg CO<sub>2</sub>/tim så erhålls en marknadspotential idag på 3 000 ton CO<sub>2</sub>/år.

Dagen marknadspotential för kylaggregat för CO<sub>2</sub> till fordon bedöms till 3000 ton CO<sub>2</sub>/år

Om 20% av Sveriges ca 10 000 dieseldrivna kylaggregat skulle bytas ut till koldioxidaggregat så får en marknadspotential på ca 60 000 ton CO<sub>2</sub>/år. Detta skulle dessutom spara ca 9000 m<sup>3</sup> dieselolja per år.

## 5.5 Brandskydd

Det finns tre faktorer bakom koldioxidens effektiva släckverkan:

- Den kväver elden. Koldioxiden tränger undan syret i luften. Syrehalten sänks från normala 21% ner till 12-15%. Utnyttjas koldioxiden i form av kolsyresnö så utestängs syre helt från brandhärden.
- Den kyler brandhärden. Koldioxid som strömmar ut ur munstycket har en temperatur på  $-78^{\circ}\text{C}$ , vilket gör att brandförloppet stoppas.
- Den binder energi. Koldioxiden binder den energi som underhåller branden. Det är samma princip som halon.

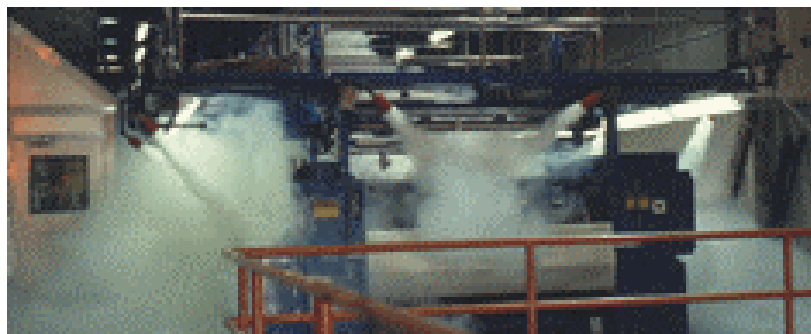
Koldioxid släcker genom att späda ut luftens syrehalt. Det krävs mellan 30 och 50% inblandning i luften för att skapa en obrännbar atmosfär. Koldioxid används främst för känslig maskinutrustning t ex datorer, verkstadsmaskiner, elektrisk utrustning och annan utrustning där en ren släckning är betydelsefull.

Koldioxid är en gas avsedd för brand i brännbara vätskor och plaster. Den släcker inte brand i trä, papper, tyg eller andra glödbränder.

Handbrandsläckare finns i storlek 2 eller 5 kg. För större brandrisker används hjulburna aggregat med 20 till 60 kg  $\text{CO}_2$ . Större fasta brandskyddssystem har vanligen flera behållare på ca 50 kg  $\text{CO}_2$  med högt tryck upp till 250 bar där koldioxiden är flytande. Vid brand leds den flytande koldioxiden i ledningar till munstycken där den förgasas samtidigt som den temperaturen går ned till  $-78^{\circ}\text{C}$  varför det blir också blir en kylande effekt. All personal måste lämna det skyddade utrymmet innan koldioxiden utlöses då det annars finns risk för andningsproblem.

I släckanläggningar förekommer det i första hand i punktskydd för t ex gnistbearbetningsmaskiner, hårdkar, lackeringsugnar. Numera är det inte så vanligt förekommande i rumsskyddssystem främst på grund av personskaderiskerna.

Den totala marknadspotentialen för  $\text{CO}_2$  till brandskydd bedöms till 100 ton/år



*Exempel på utlösning av ett fast brandsläckningssystem med flytande  $\text{CO}_2$  som omvandlas till kolsyresnö när det injiceras i atmosfären (källa: Kidde Sweden AB)*

## 5.6 Skadedjursbekämpning

Skadedjursbekämpning med CO<sub>2</sub> kan huvudsakligen ske med två metoder:

1. För mindre utrymmen med handhållen eller mobil utrustning där en handhållen sond sprutar ut flytande CO<sub>2</sub> från en tub. Därvid fås en kraftig kyla (-78 °C) med kolsyresnö (torris). Bekämpningen består främst i sönderfrysning av insekterna, deras ägg och puppor. Metoden lämpar sig väl för sanering av möblerade rum där CO<sub>2</sub> inte ger några skador på textilier.
2. För sanering av större utrymmen som t.ex. djurstallar och lagerutrymmen injiceras stora mängder gasformig CO<sub>2</sub> som dödar djur och insekter genom att skada deras andningssystem. Här injiceras normalt CO<sub>2</sub> från större mobila tankar som t.ex. tankbilar.

En stor fördel med sanering med CO<sub>2</sub> är att det inte krävs någon karenstid eller rengöring efteråt utan att lokalerna kan utnyttjas direkt efter en snabb vädning.

Den totala marknadspotentialen för CO<sub>2</sub> till skadedjursbekämpning bedöms till 100 ton/år



*Cryonite från Silvandersson Sweden AB är exempel på en handhållen mobil utrustning för sanering med CO<sub>2</sub> för mindre utrymmen*



## 5.7 Skjutvapen

Luftvapen kan drivas av små patroner på vanligen på 12 eller 88 gram komprimerad CO<sub>2</sub>. Denna CO<sub>2</sub> kan vara av teknisk kvalitet. Marknaden bedöms dock endast omfatta små volymer som kan utgöra en kompletterande nischmarknad för någon enstaka aktör.



*12 grams CO<sub>2</sub> patroner för luftvapen*

## 5.8 Vattenrening och pH reglering

Många produktionsanläggningar har problem med att hålla pH-värdet stabilt i avloppsvattnet. Vanligtvis måste pH-värdet minskas, och mineralsyror används ofta. Men utrustningen är dyr och andra problem uppstår: om svavelsyra används tillsätts sulfater i vattnet, och saltsyra korroderar rör och utrustning. Då uppstår nya problem och höga driftskostnader. Det är också svårt att hantera de här syrorna på ett säkert sätt.

Koldioxid-baserade pH-kontrollsystem som är enkla att hantera och kräver lite tillsyn.

Koldioxid bildar en svag syra som ger mer precis och säker pH-kontroll. Den är omöjligt att överdosera och utrustningen är mycket enkel och billig. Dessutom förbättras det renade vattnets buffertkapacitet betydligt.

Vi bedömer att endast pH-reglering av avlopps och processvatten är aktuell för CO<sub>2</sub> från biogas som inte har livsmedelskvalitet.

Den totala marknadspotentialen för CO<sub>2</sub> till vattenrening bedöms till 1000 ton/år



*Exempel på doserutrustning för CO<sub>2</sub> i avloppsvatten (källa: AGA)*

## 6. Marknad för CO<sub>2</sub>

### 6.1 Allmänt

Att vara leverantör av koldioxid (eller andra gaser) innebär dels att man måste ha tillgång till koldioxid (eller den gas man skall leverera) i den kvalitet och i de volymer som marknaden kräver men också att man kan erbjuda system för att lagra och distribuera gasen på ett tryggt och säkert sätt till de ställen där den skall används.

Eftersom gaser kräver speciell utrustning som tål höga tryck och/eller mycket låga temperaturer är också utrustning såväl för produktion, rening som för lagring och distribution relativt dyr och hela branschen är mycket kapitalintensiv.

En vanlig investeringsstrategi i gasbranschen är att söka finna gaskällor eller förlägga produktionsanläggningar i direkt anslutning till nå större förbrukare så att en tillräcklig



volym/försäljning kan säkerställas/kontrakteras så att åtminstone fasta produktionskostnader och merparten av kapitalkostnaden täcks utan att dyra transporter eller distributionssystem krävs. Om produktionen sedan är något större än förbrukningen kan överskottet föras ut på marknaden till betydligt högre pris än basvolymen.

Denna strategi har bl a tillämpats vid många kommunala (och andra) biogassatsningar och förklarar varför många tankställen för biogas finns vid avfallsanläggningar och/eller avloppsreningsverk.

Beträffande koldioxid har vi inte funnit några småskaliga producenter/leverantörer och därför finns heller ingen utbyggd infrastruktur eller distributionssystem för detta.

Eftersom all koldioxid som saluförs i Sverige också såvitt vi förstått i princip håller en och samma kvalitet (livsmedelskvalitet) finns heller ingen utrustning anpassad för tekniska kvaliteter som är de vi funnit mest intressanta.

## 6.2 Leverantörer

I Sverige har vi funnit fyra leverantörer av koldioxid. Dessa är AGA Gas, Air Liquide, YaraPraxair samt Strandmöllen. Samtliga är internationellt verksamma gasbolag med stora ekonomiska reser bakom sig. Två av leverantörerna, Air Liquide och AGA Gas producerar koldioxid vid fabriker i Sverige..

**Air Liquide**, är världens största gasbolag och finns etablerade med ett komplett sortiment av gaser och gasutrustningar i Sverige sedan många år. Air Liquide producerar koldioxid vid två anläggningar i Skåne.

**AGA Gas** som ingår i Lindekongcernen har fabriker för framställning av koldioxid i Örnsköldsvik och Stenungsund. AGA har också en import och lagringsanläggning i Södertälje för koldioxid som utvinns som biprodukt vid petrokemisk industri i Finland (Neste) och levereras per båt. I början av 2012 ingick AGA och Lantmännen ett avtal om att bygga ytterligare en koldioxidfabrik vid Agroetanols anläggning i Norrköping. AGA är dominerande på koldioxidmarknaden i Sverige och även om det visat sig svårt att få fram exakta siffror bedöms AGA ha en marknadsandel uppemot 90 %.

**Yara Praxair** är ytterligare en leverantör av koldioxid som är verksam i Sverige. Yara Praxair är ett skandinaviskt gasföretag som ägs av kemikongcernen Yara (sprungna ur Norsk hydro) och amerikanska Praxair som är ett av världens största industrigasbolag. Yara Praxair tillvaratar koldioxid som en biprodukt från Yaras ammoniakstillverkning i Norge och Holland och importerar denna till Sverige.

**Strandmöllen AB** som har danska ägare är verksamma i gasbranschen sedan nästan 100 år. Under de senaste 10 åren har man etablerat sig i södra Sverige (Ljungby) och säljer ett komplett sortiment av industrigas.

## 6.3 Leveranssystem

Koldioxid distribueras till större kunder i flytande form via tankbilar. Kunderna har då en stationär kryotank som ofta hyrs av leverantören. Gasen kan också levereras i gasflaskor, flaskpaket eller palltankar som också de oftast hyrs ut av gasleverantören. Dessutom krävs nästan alltid speciell utrustning för att kunna applicera och använda gasen.

Att gasleverantören äger hela eller delar av den utrustning kunderna behöver är också ett sätt att låsa upp kunden mot en viss leverantör.



Stationär Kryotank



Palltank



Gasflaskor

## 6.4 Applikationsutrustning och system

För att kunna applicera och använda koldioxid behövs ofta specialanpassad utrustning. Då variationen bland de applikationer där koldioxid används är mycket stor finns en stor produktflora och en stor mängd leverantörer i världen som jobbar med koldioxidutrustningar och applikationsutveckling för koldioxid. I Sverige är det ofta (dock ej alltid) gasbolagen som säljer eller hyr ut även denna utrustning men då ibland som "ett nödvändigt ont" för att kunna sälja gas.

Här kan finnas en god möjlighet även för mindre aktörer att introducera, eller utveckla ett sortiment av applikationsanpassad utrustning och saluföra på svenska marknaden.

Ett exempel vi tittat på i denna studie är Thermokings kylaggregat för fordon.

För fordon med kylaggregat som drivs med koldioxid finns det tankställen på ett mindre antal platser i Sverige. Koldioxiden är flytande vid ett tryck på ca 8 bar och -55C. I vårt närområde finns ett sådant tankställe i Lidköping.



Tankställe för flytande koldioxid (LIC) i Lidköping

## 6.5 Prispbild

Prisbilden för koldioxid är splittrad då det ofta ingår hyra av tank, palltank eller gasflaskor i priset. Då också distribution/frakt till användningsstället ställer speciella krav ingår nästan alltid detta.

Utifrån den kartläggning vi gjort ser man att marknadsvärdet är starkt beroende av dels logistiska förutsättningar men också av kvalitetsnivån på den koldioxid man kan få fram. Vår studie visar på att kunder i vårt område (Skaraborg med närområde) idag köper koldioxid till priser mellan 1,00 kr - 4,00 kr/kg CO<sub>2</sub>. (fritt kund)

Vi har mest studerat applikationer där en teknisk kvalitet är tillfyllest men eftersom även sådana applikationer idag försörjs med koldioxid av livsmedelskvalitet (eftersom ingen annan kvalitetsnivå finns tillgänglig) behövs fördjupade studier/diskussioner kring krav/standard även för teknisk koldioxid samt vilken kvalitet respektive applikation egentligen behöver.

En livsmedelskvalitet, om än i små kvantiteter, skulle kunna föras ut på marknaden till priser på uppåt 100 kr/kg medan en teknisk kvalitet för enklare applikationer betingar ett värde på 1 - 3 kr/kg.

Vi bedömer att vid ett pris vid användningsstället på ca 2 kr/kg CO<sub>2</sub> så är en biogasbaserad koldioxid produktion realistisk.

## 7. Framtida utvecklingsmöjligheter

För teknisk CO<sub>2</sub> från biogasproduktion ser vi följande framtida utvecklingsområden:

- CO<sub>2</sub> gödsling i växthus med avgaser från brännare, pannor och kombinerad kraft-värmeproduktion med bl.a. gasmotorer och gasturbiner.
- Biogasproduktion kombinerad med algproduktion där avgaserna från kraft-värme produktionen utnyttjas som CO<sub>2</sub> gödsling för algerna.
- Saneringssystem för skadedjur
- Kylsystem för fordon.
- Omhändertagande av den CO<sub>2</sub> som idag avskiljs från biogasen vid uppgradering.

### 7.1 Växthus

En av de största marknaderna idag är till CO<sub>2</sub> gödsling av växthus. Här lämpar sig teknisk CO<sub>2</sub> från biogasproduktion väl speciellt om det går att använda avgaser från kraft-värme produktion med gasmotorer.

För biogasanläggningar med kraft-värmeproduktion utan växthusproduktion kan rening, kylning och uppsamling av avgaserna vara av intresse om det går att leverera direkt till närliggande växthus.

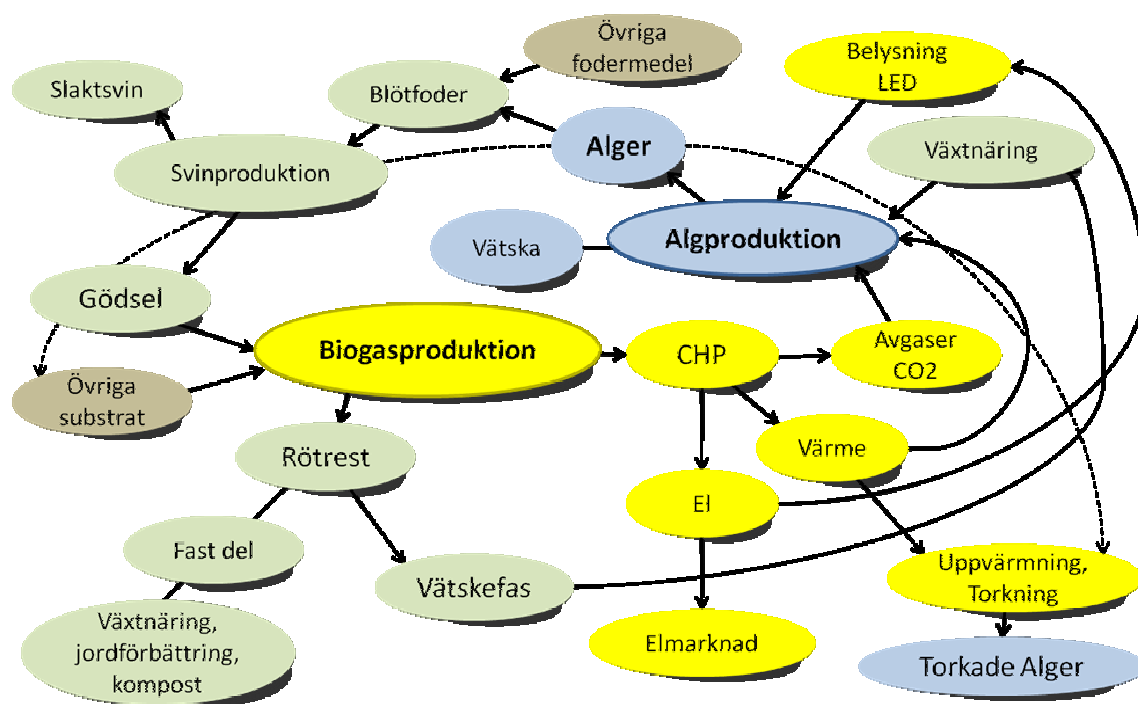
I detta fall krävs noggrann renings utrustning (t.ex. katalytisk) som reducerar innehållet av främst H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, CO och Etylen till godtagbara nivåer.

För distribution måste småskaliga kompressorer och tankar tas fram. Idag finns nya småskaliga CO<sub>2</sub> kompressorer för bl.a. direktverkande kylsystem på marknaden som bör utvärderas för detta ändamål. Olika tankar och flaskor för flytande CO<sub>2</sub> finns redan på marknaden varför det bör vara lätt att anpassa till denna verksamhet.

## 7.2 Algproduktion

Om biogasproduktion på gårdsnivå kombineras med algproduktion kan CO<sub>2</sub> i biogasen utnyttjas för gödsling av algerna. Vid kraft-värmeproduktion kan avgaserna från gasmotorn bubblas igenom algodlingen.

Algproduktionen kan med fördel användas som foder för gårdens djurproduktion t.ex. svin och därigenom skapa ett komplett kretslopp på gården enligt figuren nedan.



Här finns flera frågor att utreda:

- Vilka alger kan passa för denna typ av produktion.
- På vilket sätt behöver avgaserna från biogasmotorn renas & behandlas för att kunna diffunderas in i och passa algodlingen?
- Vilken mängd CO<sub>2</sub>, växtnäring, ljus & temp är optimalt för olika alger?
- För vilka djurslag passar de proteiner som kan framställas med olika alger med prioritering på svin?

- Hur skall en ekonomisk & effektiv gårdsbaserad algodling konstrueras?
- Kan belysning med LED optimeras för maximal algproduktion med avseende på max. proteinskörd?
- Hur skall de skördade algerna behandlas för att passa som djurfoder i första hand för svin?
- Hur passar den från rötresten separerade vätskefasen som näring till algerna?
- Vilka foderhygieniska risker finns det att använda vätska från rötresten till algerna? Krävs det i så fall hygienisering ?
- Finns det etiska problem med att använd gödselnäring direkt till djurfoder – ovilja hos konsumenter?
- Vad har algerna för fodervärde för olika djurslag med prioritering på svin?
- Kan algerna torkas ekonomiskt till ett proteinpulver med hjälp av billig spillvärme från biogasmotorn?
- Under vilka omständigheter nås lönsamhet och i så fall hur mycket nås med systemet?
- På vilket sätt ökar detta lönsamheten för både gårdsbaserad biogasproduktion och svinproduktion?
- Vilken energibalans och energibesparingar kan nås med systemet?
- Hur mycket el (belysning) & värme måste tillföras under året?
- Vilka minskningar i utsläpp av växthusgaser kan nås med systemet?
- Hur mycket arbete, underhåll & service krävs för denna typ av algodling?

### 7.3 Sanering

Dagens mobila saneringsutrustning för skadedjur upplevs av användarna som klumpig och tungarbetad. Det beror främst på att tuberna med trycksatt flytande CO<sub>2</sub> är tunga att hantera t.ex. vid i och urlastning av bilar. Detta innebär bl.a. att denna typ av sanering inte används så mycket som den borde.

Dessutom förekom klagomål på allt för höga priser på dagens CO<sub>2</sub> för detta ändamål.

Med ett lättare och smidigare system för mobil sanering med CO<sub>2</sub> skulle förmodligen användningen och volymerna för detta kunna ökas rejält. Inte minst med tanke på de ökande problemen med vägglöss på hotellrum.

### 7.4 Kylsystem för fordon

Dagens CO<sub>2</sub> aggregat för kylning av fordon är väl utvecklade och beprövade med i huvudsak god resultat och prestanda. Men marknaden har gått tillbaka av främst följande skäl:

- För få tankställen för flytande CO<sub>2</sub>
- För höga priser på flytande CO<sub>2</sub>
- Hög förbrukning av CO<sub>2</sub> kräver täta tankningar som till stor del beror på bristande information och utbildning.
- Hög förbrukning av CO<sub>2</sub> kräver täta tankningar
- Kylfordon kräver vintertid ofta uppvärmning varför man behöver extra värmare.
- Leverantörerna är måttligt intresserade då CO<sub>2</sub> aggregaten ger lägre inkomster på service och underhåll.
- Ingen aktör verkar vara intresserad av att utveckla marknaden?

Här bör finnas stora möjligheter för en ny aktör att aktivera marknaden men eftersom kyltransporterna kräver ett många välplacerade tankställen så krävs en aktör med resurser och tillgång till drivmedelsbranschens nätverk.

Eftersom CO<sub>2</sub> kylning av fordon inte kräver livsmedelskvalitet så är denna marknad intressant för teknisk CO<sub>2</sub> från biogasproduktion men då krävs samarbete med en etablerad distributör. Med tanke på behovet av större volymer och logistik är det främst CO<sub>2</sub> från uppgraderingsanläggningar för biogas som är av intresse.

## 7.5 PH-reglering av avloppsvatten

Vid reglering av pH värdet på avloppsvatten finns det ingen anledning att använda CO<sub>2</sub> av livsmedelskvalitet. Här borde det kunna finnas en marknad för lokalt producerad CO<sub>2</sub> från biogasproduktion till de lokala reningsverken. Detta borde vara speciellt intressant för de kommunala reningsverk som idag producerar både biogas och har behov av CO<sub>2</sub> för pH-reglering i samma anläggning.

## 7.6 Uppgradering av biogas

Den CO<sub>2</sub> som idag avskiljs vid uppgradering av biogas till biometan till främst fordon släpps idag ut i atmosfären. Det har under åren diskuterats många gånger om hur denna CO<sub>2</sub> skulle kunna tas om hand och bidra till ökad lönsamhet i biogasproduktionen.

Idag dominerar uppgraderingssystem för komprimerad biometan men nu kommer även system för nedkyld flytande biometan (under -161 °C).

I Sverige finns idag ingen uppgraderingsanläggning för biogas som tar till vara CO<sub>2</sub> och det finns därför ingen färdig utrustning för detta på marknaden. Ett system borde dock kunna byggas av standard komponenter till rimliga kostnader.

Vid kryogen uppgradering av biogas kan man få flytande CO<sub>2</sub> av mycket ren kvalitet utan större investeringar. Dessa anläggningar är dock än så länge ovanliga. Den första i Sverige har byggts i Sundsvall av det holländska företaget GtS men man har hittills inte fått anläggningen att fungera tillfredsställande.

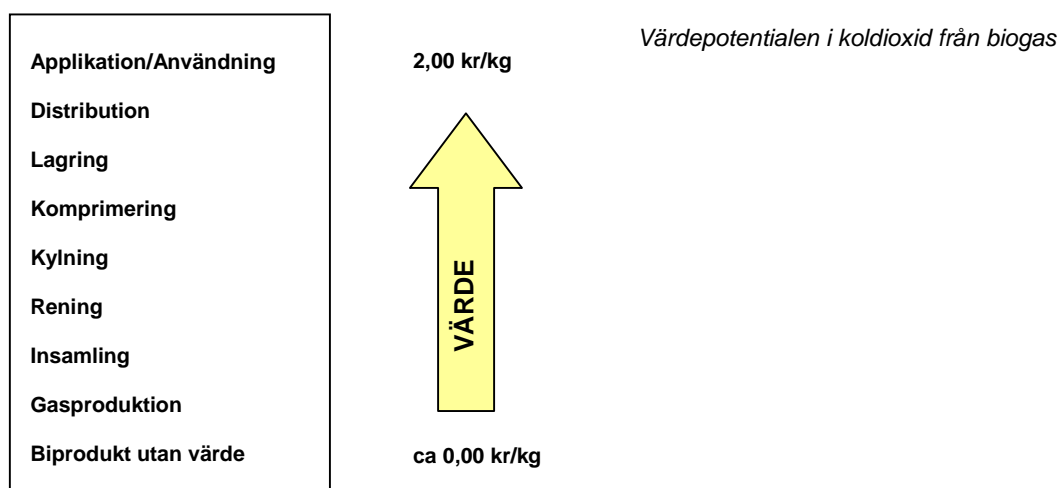
När utvecklingen nu går mot allt mindre och kostnadseffektivare uppgraderingsanläggningar med bl.a. ny membranteknik öppnas möjligheten till gårdsbaserad fordonsgasproduktion. Då ges även möjligheten att ta tillvara CO<sub>2</sub> på gården för en lokal marknad.

## 8. Ekonomi och lönsamhet

### 8.1 Värdekedjan

För att titta på lönsamheten vid en kommersialisering av koldioxid från biogas behöver man förstå hur värdekedjan ser ut hela vägen från gasproduktion till slutkundens användning. Värdekedjan kan designas på olika sätt beroende på vilka aktörer som ingår, hur dessa väljer att positionera sig, hur logistiken ser ut, vilken användning som avses samt vilka affärsmodeller som används. För att en lönsam och hållbar kommersialisering skall vara möjlig måste dock varje led i den värdekedja som används minimum bära sina egna kostnader och samtidigt generera tillräckligt med vinst till den/de organisationer som driver den.

I denna studie har vi främst lagt fokus på att förstå värdet i ledet närmast slutkund (ca 2 kr/kg) vilket tillsammans med utgångspunkten att koldioxid från biogas idag inte betingar något värde alls (0 k/kg) ger en maximal kostnadspotential inklusive vinst för att driva samtliga steg i värdekedjan om 2,00 kr.



Vid en analys inser man snabbt att en värdekedja innehållande bl.a. lagring och distribution av en gas som koldioxid, kräver investeringstung och speciell utrustning som medför att storskalighet och skalfördelar kommer att ha ett mycket stort genomslag när man räknar på lönsamheten.

Då samtliga biogasanläggningar som idag finns i Sverige vid en jämförelse med dagens koldioxidkällor måste betraktas som småskaliga är det därför med stor sannolikhet inte möjligt att konkurrera om stora volymkunder med de stora gasbolag som idag finns på marknaden.

Åtminstone i ett inledande skede bör korta värdekedjor med få steg och få aktörer vara de som torde ha störst möjlighet att visa på lönsamhet. Man behöver alltså en "minsta möjliga startpunkt" där konkret verksamhet kan komma igång snabbt utan alltför stora investeringar.

Vi har därför dragit slutsatsen att en inledande kommersialisering bör ske i direkt anslutning till koldioxidkällan (biogasanläggningen) samt i en applikation där gasen kan levereras direkt till slutkund utan kostsamma reningssteg, mellanhänder eller dyrbar lagring o distribution.

Man bör dock notera att det finns många relaterade/kompletterande värdekedjor, t ex tjänster, applikationskunnsande och/eller utrusningar för koldioxid som är värda att titta djupare på om/när tillgången på koldioxid av rätt kvalitet och till rätt pris är klarlagd.

## 8.2 Volymer och potentialer

Statistik över svensk biogasproduktion ger en uppskattning av den produktionspotentialen för CO<sub>2</sub> från biogasproduktion. I detta projekt fokuserar vi främst på CO<sub>2</sub> från gårdsanläggningar samt uppgradering.

Antal biogasanläggningar i Sverige, fördelning mesofila/termofila anläggningar samt total rötkammarvolym år 2010.

Anläggningstyp	Antal anläggningar	Antal mesofila	Antal termofila	Rötkammarvolym (m <sup>3</sup> )
Avloppsreningsverk	135	127	8	344 555
Samrötningsanläggningar	181	11	7	79 549
<b>Gårdsanläggningar</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>9 522</b>
Industrialanläggningar	5	5	0	54 203
Deponier	57	e.t. <sup>2</sup>	e.t. <sup>2</sup>	e.t. <sup>2</sup>
Summa	229	156	16	487 829

<sup>2</sup> Ej tillämpligt (Källa: Energimyndigheten)

## Energimängd i producerad biogas år 2010 (GWh).

Anläggningstyp	Biogasproduktion (GWh)	Fördelning (%)
Avloppsreningsverk	614	44
Samrötningsanläggningar	344	25
<b>Gårdsanläggningar</b>	<b>16</b>	<b>1</b>
Industrianläggningar	114	8
Deponier	298 <sup>1</sup>	22
Summa	1 387	100

<sup>1</sup> Uppsamlad energimängd biogas. Faktisk produktion är inte mätbar.  
(Källa: Energimyndigheten)

## Biogasens användning i GWh år 2010 uppdelat på användningsområde.

Område	Användning	Fördelning(%)
Värme	606,3	43,7
El	56,4	4,1
<b>Uppgradering</b>	<b>608,5</b>	<b>43,9</b>
Fackling	112,3	8,1
Saknad data	3,5	0,2
Summa	1 387	100

(Källa: Energimyndigheten)

Vi antar att biogasen i genomsnitt innehåller 60 % metan och 40 % CO<sub>2</sub>.

De svenska gårdssanläggningarnas produktion 2010 på 16 GWh motsvarar då 1,633 milj. Nm<sup>3</sup> metan och 1,088 milj. Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>.

Uppgraderingen av biogas 2010 på totalt 608,5 GWh motsvarar 62,092 milj. Nm<sup>3</sup> metan och 41,395 milj. Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>.

Om CO<sub>2</sub> har en densitet i gasform på 1,98 kg/m<sup>3</sup> så motsvarar den svenska biogasproduktionen 2010 på gårdar 2 150 ton CO<sub>2</sub> och uppgraderingen 81 960 ton CO<sub>2</sub>.

Detta är 3 gånger mer än den totalt uppskattade marknaspotentialen för CO<sub>2</sub> från biogasproduktion på 27 000 ton CO<sub>2</sub>/år.

Dessa 27 000 ton CO<sub>2</sub> kan produceras från en biogasproduktion på ca 200 GWh vilket motsvarar 10 st större biogasanläggningar med en årsproduktion på 20 GWh.



## 9. Slutsatser

Konkurrensfördelen för biogasproducerad "grön" koldioxid är att den är lokalt producerad och konsumerad hos mindre lokala kunder. Stora volymkunder med stora transportavstånd kommer sannolikt att inom överskådlig framtid fortsätta handla med de stora gasbolagen.

Vår slutsats är att i fortsättningen bör projektet fokusera på två spår:

1. Användningsområden direkt vid källan i applikationer som inte kräver omfattande extra reningssteg. Sådana applikationer är t. ex pH-reglering i avloppsvatten eller annat vatten ej avsett att drickas eller avgaser från biogasmotorer som leds direkt in i närbelägna växthus eller småskaliga algodlingar.
2. Att ta hand om den avskilda koldioxiden från uppgraderingsanläggningar för biogas.

"Grön" koldioxid från biogasproduktion måste eventuellt renas beroende på användningen. Detta är speciellt viktigt för avgaserna från en biogasmotor då de kan innehålla för höga halter NOX, H<sub>2</sub>S CO och etylen. Här måste på marknaden förekommande reningsutrustningar utvärderas och testas.

Koldioxiden från uppgraderingsanläggningar är troligen enklare att använda då den är renare. Här måste dock ett nära samarbete med tillverkarna utvecklas så att denna utrustning blir väl integrerad.

Den svenska marknadspotentialen för CO<sub>2</sub> från biogasproduktion uppskattas till ca 27 000 ton/år

Vi bedömer att vid ett pris på ca 2 kr/kg CO<sub>2</sub> så är en biogasbaserad koldioxidproduktion realistisk.

Detta ger ett värde på den totala marknadspotentialen på ca 54 MSEK.

Generellt finns i det fortsatta arbetet ett stort behov att etablera samarbete med svenska och utländska företag för att ta fram utrustning för rening, komprimering, kylning, distribution och kanske allra viktigast användning av "grön" koldioxid av teknisk kvalitet.

## 10 Referenser

- Andersson, K. m.fl. 2009. Biogas till fordonsbränsle i form av flytande metan. Kandidatarbet Industriell Ekonomi, Chalmers
- Eder, B. Schulz, H. 2006. Biogas Praxis. Ökobuch Verlag, Tyskland
- Energigas Sverige. 2012. Anvisningar för biogasanläggningar - BGA 2012. Energigas Sverige
- Energimyndigheten, Produktion och Användning av biogas 2010, ES 2011:07
- Görisch, U. Helm, M. 2006. Biogasanlagen. Eugen Ulmer KG, Tyskland
- Hemming, J-G, Lindhé. B. 2010. Rena drivmedel av koldioxid. Bengt Lindhé Förlag Skara
- Karll, B. 1995. CO<sub>2</sub>-GÖDSLING MED AVGASER FRÅN GASMOTOR MED KATALYSATOR. Rapport SGC 069
- Karlsson, B. 2006. Morgondagens Butikskyla är här – Branschen är rustad. TESAB AB
- Möller-Nielsen, J. 2008. Energi & koldioxid i svensk växthusodling 2008. Cascada
- Nilsson, A. 1992. Förbränning av naturgas för C=2 produktion. Examensarbete SLU
- Norén, C. 2002. Gurkturbinen- Mikroturbinbaserad CO<sub>2</sub>-gödsling. SGC Gasnytt 2-02
- Näslund, Mikael. 2011. Energigasteknik. Svenskt Gastekniskt Center
- Pettersson, A. m.fl. 2007. LCMG – pilotprojekt för LMG som fordonsbränsle i Sverige. Rapport SGC 177
- Olah, G m.fl. 2006. Bortom olja och gas. Industritertatur
- Svenskt Gastekniskt Center. 2004. Industriell Energigasteknik.
- Svenskt Gastekniskt Center. 2011. Gasanvändning i bostäder och lokaler.
- Wågdahl, K. 1999. Distribution av biogas i naturgasnätet. Rapport SGC 101
- Ekendahl, m fl, Värmeforsk 2011  
Mikroskopiska alger som kombinerad koldioxidsänka och energkälla i Sverige
- Fritiofsson m fl, Höskolan Karlstad 1985  
En teknisk och ekonomisk bedömning av alger som svinfoder
- Molin, J, Linköpings universitet, Utvärdering av potential för algbiobränslen vid etanolanläggning