

# Läget för bränsleceller till kombinerad kraft-värmeproduktion (CHP) från biogas

2013-10-31



Lars Avellán Swerea IVF  
Per Wennerberg Tecnofarm  
Kurt Dahlberg Metacon

Projektet är delfinansierat av Västra Götalandsregionen



## Läget för bränsleceller till kombinerad kraft-värmeproduktion (CHP) från biogas

Projektet syftar till att kartlägga system lämpade för små biogasströmmar från främst lantbruk där det inte är lönsamt att samla gasen för upparbetning till fordonsgas. Detta har påverkat viktningen av rapportens innehåll.

Projektet utgör en mindre förstudie med begränsade resurser.

Projektet är medfinansierat av Västra Götalandsregionen och avrapporterat 2013-11-08

Projektdeltagare har varit

Swerea IVF	Lars Avellán
Tecnofarm	Per Wennerberg
Metacon	Kurt Dahlberg

## Innehåll

Sammanfattning.....	4
Bränsleceller i ett Då-Nu-Sedan perspektiv .....	5
Biogas i ett Då-Nu-Sedan perspektiv.....	11
En färsk analys av marknadssituationen för bränsleceller för biogas och naturgas.....	16
Några spridda exempel på företagsprofiler .....	20
Speciellt intressanta leverantörer .....	22
En färsk analys av marknadssituationen för svensk gårdsbaserad biogasproduktion .....	24
Biogasens föroreningar och dess påverkan på bränslecellen .....	29
Befintliga reningssystem för biogas som lämpar sig för bränsleceller .....	30
Teknisk livslängd.....	41
Industriella affärsmöjligheter för Sverige .....	42
Indikativ ekonomisk kalkyl .....	45
Utmaningar.....	47
Tekniska utmaningar .....	47
Ekonomiska utmaningar.....	49
De ekonomiska utmaningarna är mångfaldiga. ....	49
Politiska utmaningar.....	51
Förslag till Roadmap för fortsatt verksamhet .....	53

## Sammanfattning

Biogas är idag ett hett ämne i Sverige. Fokus ligger idag främst på biogas uppgraderad till fordonsgas och utgör en av flera pusselbitar på vägen mot en fossilfri fordonsflotta. För att få lönsamhet i den hanteringen krävs någorlunda stora gasflöden, vilka kan erhållas från reningsanläggningar, deponier och samrötningsanläggningar med flera intressenter. Biogas från enskilda gårdar uppfyller inte dessa volymkrav och det är därför svårt att lönsamt utnyttja dessa små biogasflöden.

Då metangasutsläpp från gödsel är en stark källa till växthuseffekt (21 gånger starkare effekt per ton än CO<sub>2</sub>), så är det angeläget att skapa ekonomiska förutsättningar för att lantbruket lönsamt skall kunna ta vara på sin produktionspotential för biogas.

Dagens teknik på lantbruksnivå består antingen av att man bara utnyttjar värmen i biogasen eller att man använder sig av en enkel form av kraftvärmeproduktion, CHP Combined Heat and Power, med personbilmotorer ombyggda till gasdrift. Dessa motorer har kort livslängd, behöver mycket service, bullrar och släpper ut avgaser.

Denna resursbegränsade förstudie studerar förutsättningarna för att ersätta denna primitiva teknik med en kombination av reformers och bränsleceller.

Studien finner att de tekniska möjligheterna finns, men att två huvudproblem gör att tekniken inte ser ut att komma utan support från samhället:

- Som förväntat är tekniken är ännu för dyr, men ligger anmärkningsvärt nära de nivåer marknaden kan räkna hem
- Biogas från lantbruk är inte ett fokusområde för världens bränslecellsindustri

Positivt finner vi att Sverige har en industri, som är väl lämpad för applikationen. Kombinationen med välpositionerad svensk industri och svagt internationellt industriellt intresse skapar förutsättningar för Sverige att ta en världsposition. Dagens låga lönsamhet gör dock att även en sådan utveckling kräver support från samhället för att komma till stånd.

Se även sista kapitlet Förslag till Roadmap, som kan ses som en fördjupad sammanfattning

## Bränsleceller i ett Då-Nu-Sedan perspektiv

En bränslecell omvandlar kemisk energi, vanligtvis vätgas, till elektricitet. Processen liknar ett batteri, men energin tillförs utifrån. Om vätgas används som bränsle, så består avgaserna av rent vatten.

Önskas ett annat bränsle än vätgas, t.ex. biogas, så behövs oftast någon form av reformer, som först omvandlar bränslet till vätgas. Reformern avger avgaser i form av bland annat CO<sub>2</sub> och kolväten. Mängden CO<sub>2</sub> är direkt styrt av kolinnehållet i bränslet, medan mängden av andra föroreningar normalt är betydligt lägre än om bränslet hade körts i en förbränningsmotor.

Bränsleceller ger hög verkningsgrad, stor bränsleflexibilitet (vätgas kan tillverkas från många energikällor), rena avgaser och har potential för ett lågt framtida pris.

Största drivkraften idag är tryggad energiförsörjning och låga koldioxidutsläpp från framtidens bilar. Parallell utveckling sker för många andra applikationer, främst andra fordon, stationär kraft och bärbar elektronik.

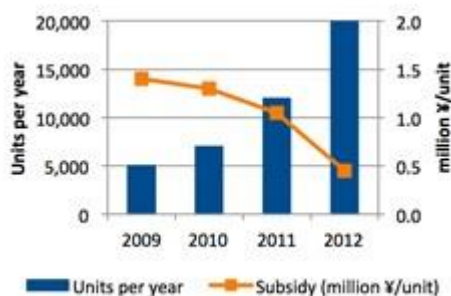
Utvecklingen av bränslecellstekniken har tagit mer än 200 år.

### Historien i fem rader:

**Bränsleceller är en 1800-talsuppfinling. 1959 presenterades det första praktiskt användbara systemet. Åren 2007-2009 började tekniskt mogna system dyka upp. Den största utmaningen idag (2013) är kostnadsreduktion. År 2015 förväntas ett antal 10.000 serier av bränslecellsbilar börja produceras. Då förväntas även bränslecellsbaserade  $\mu$ CHP system kunna säljas utan subventioner i Japan.**

1801	Visar Humphry Davy principerna för bränsleceller
1807	Demonstrerar Francois Isaac de Rivaz den första förbränningsmotorbilen. Motorn drivs av vätgas.
1839	Demonstrerar William Grove den första bränslecellen. Viktigt för framgången var det pionjärarbete som presenterades av Friedrich Schönbein året innan.
1959	Demonstrerar Francis Bacon det första praktiskt användbara bränslecellssystemet.
1966	Bygger General Motors världens första bränslecellsbil, the Electrovan.
60-talet	Under 60-talet dominerar utvecklingen av bränsleceller av NASAs rymdprogram. I mitten av 60-talet placerades den första bränslecellen i en rymdfarkost.
70-talet	Under 70-talet började forskning, utveckling och demonstration av civila bränslecellssystem ta fart. Drivkraften var ett uppvaknande av miljömedvetenheten. Fokus är bränslecellsbilar och stora stationära kraftverk. Utvecklingen av bränslecellsbilar är till stor del intermittent med ett antal tillfälliga projekt, medan utvecklingen av stora stationära kraftverk är förhållandevis framgångsrik. Inom decenniet hinner ett 1 MW bränslecellssystem levereras till kund.
1979	Grundar Geoffrey Ballard företaget Ballard i Kanada, som betytt väldigt mycket för utvecklingen av bränsleceller av PEMFC typ och nu är världens dominerande

- leverantör av bränslecellsstackar av denna typ. Geoffrey var övertygad om att elektrisk drift var framtiden för bilindustrin
- 80-90-talen Under 80- och 90-talen fortsätter den miljödrivna utvecklingen. Under dessa två decennier och fram till mitten av 2000-talet kännetecknas utvecklingen av en överoptimism. Denna överoptimism skadade förtroendet för bränslecellsutvecklingen. Utmaningarna är främst tekniska. Bränsleceller för mobila applikationer gick inte att köpa över disk, medan kommersialiseringen av stora stationära system började komma igång. Tillförlitlighet och livslängd är ännu otillfredsställande, i synnerhet för de mobila systemen.
- 1992 Första kommersiella bränslecellssystemet för stationär kraft levereras till kund.
- 2003 2003 var det fortfarande svårt, men möjligt, att köpa ett bränslecellssystem utöver de stora system som byggdes för stationär kraft. Kunderna sågs mer som samarbetspartners för fältprov av systemen.
- 2005 Startade ett ambitiöst utvecklingsprogram i Japan för att utveckla och kommersialisera så kallade  $\mu$ CHP [mikro Combined Heat and Power] enheter baserade på bränsleceller och alla med effekten 1 kW. 15 företag och offentliga subventioner ingår i satsningen. Satsningen känns igen under namnen Ene-Farm och NEDO (även Nef).
- 2006 Responderade bil och oljeindustrin på överoptimismen under 80-90-talen och den förtroendekris som blev ett resultat av detta. Flera av världens största biltillverkare och oljebolag undertecknade en avsiktsförklaring att introducera bränslecellsbilar i antal om många 10.000-tal år 2015. Denna avsiktsförklaring upprepades år 2009.
- 2007 Försäljning av bränsleceller för så kallade tidiga applikationer börjar få fart. Detta inkluderar backupenergi för telekomstationer, lagertruckar och elkraft för fritidsfordon (husvagnar mm.).
- 2008 Svarar Tyskland på det japanska Ene-Farm projektet med en liknande satsning, Callux, på 650 MSEK. Tillverkande företag är Baxi Innotech, Hexis und Vaillant
- 2007-2009 Fram till denna tidsperiod har utmaningarna varit tekniska. Bränslecellssystemen har haft begränsad livslängd och tillförlitligheten har varit låg. Omkring år 2008 började det dyka upp tekniskt mogna konstruktioner på marknaden. Utmaningen skjuts nu över mot den ekonomiska. Bränsleceller är fortfarande dyra på grund av att riktig serietillverkning har saknats och på grund av begränsat fokus på kostnader.
- 2012 Japanska Ene-Farmsatsningen levererar 20.000 system under året, mer än någon annan bränslecellsapplikation i historien. Den offentliga subventionen per enhet avtar år för år för att 2015 vara nere på noll. Trots detta ökar försäljningsvolymerna stadigt. 2012 var subventionen 32.000 SEK/system.



Försäljning av bränslecellsbaserade  $\mu$ CHP system i Japan. Källa FuelCellToday 2/2013

Samma år startar EU ett program, Ene.field [www.enefield.eu](http://www.enefield.eu), som också är ett direkt svar på Ene-Farm och Callux. Programmets budget är 460 MSEK och kommer att pågå i fem år. Cirka 1.000  $\mu$ CHP system skall installeras i 12 europeiska länder. Nio bränslecellstillverkare medverkar: Baxi Innotech, Bosch, Dantherm, Hexis, Ceres Power, Elcore, RBZ, SOFCPower och Vaillant.

### Nutid

Tekniskt är bränslecellstekniken idag mogen (men har inte varit det särskilt länge). Fokus ligger idag på kostnadsreduktion. Kostnaderna är undantagslöst för höga. Det finns tung seriös forskning från främst USA [US-DOE] på hur låga kostnader man kan nå i en framtid. Denna forskning visar att bränsleceller långsiktigt inte behöver vara dyr, utan snarare billig teknik. De höga kostnaderna idag beror främst på:

- Mycket låga tillverkningsvolym
- PEMFC bränslecellers platinabehov. Platinabehovet minskar dock typiskt med en faktor tio på tio år.
- Att den kostnadsreducerande teknikutvecklingen är ung. Så kallad "learning curve" har bara precis börjat.
- Fortfarande är FoU-avdelningarna på bränslecells företagen större än tillverkande avdelningarna och drar stora kostnader. Även försäljningsavdelningarna är oproportionellt stora eftersom tekniken inte är hyllvara.
- Branschen har bara påbörjat sin strukturrationalisering

Fokusapplikationer är idag:

- Bränslecellsbilar
- CHP (oftast >100 kW)
- $\mu$ CHP (oftast cirka 1 kW)
- Lagertruckar
- Backupenergi för telekomstationer
- Bärbar elektronik

För CHP och  $\mu$ CHP är naturgas (Europa och USA) samt stadsgas (i Japan med hög andel propan och butan) de dominerande bränslena. Biogas verkar vara kommande, många arbetar med initiala lågprioriterade projekt, men det är sällsynt med marknadsnära system under 100 kWe.

### Framtid

Inget vet vilken framtid vi kommer att få. Det finns gott om prognoser, men de skiljer sig mycket i sina bedömningar och framtidsprognoser slår ofta, kanske oftast, fel. I denna rapport väljer vi därför en mer resonerande framställningsform.

#### *Bränslecellsbilar*

Flera stora biltillverkare aviserar att de släpper bränslecellsbilar i serier om några 10.000-tal med start mellan 2015-2020. Fram till 2020 förväntas bilarna säljas med förlust. Mc Kinsey visar i en rapport från 2011 att totalkostnaden för bränslecellsbilar, så kallad life cycle cost:

- 2020 är dyrare än alternativen

- 2030 är obetydligt dyrare än alternativen
- 2040 är i nivå med alternativen

Konkurrerande tekniker för energieffektiva drivsystem är:

- Batteribilar (Kort räckvidd, men mer energieffektiva)
- Elektriska vägar (Det mest optimala och energieffektivaste systemet, men tekniken är embryonal och infrastrukturen kostar 10 ggr mer än en väginfrastruktur.) Kanske något för 2050?
- Fortsatt effektivare förbränningsmotorer i hybriddrift (Kanske den långsiktiga lösningen för småbilar?)

### *CHP*

Stora CHP system (>100 kW) är ganska ospännande för närvarande. Tillverkarna har tagit sina marknadspositioner, men systemen är fortfarande inte konkurrenskraftiga vad avser pris och livslängd. Drivkraften är främst en hög verkningsgrad. Marknadsintresset finns dock, som väntar på mer konkurrenskraftig teknik, inte minst för biogas från avloppsreningsverk och deponier. Även för lantbrukens biogas finns ett marknadsintresse, men där saknas leverantörer och tekniken är ännu för dyr.

### *μCHP*

Helt annat är det för μCHP systemen. I kolberoende länder med naturgasnät verkar man ha bestämt sig för att dessa system skall ut på marknaden och Japan är nästan i mål. Här kan det hända stora saker.

### *Lagertruckar och backupsystem*

Ingen av dessa applikationer blir ekonomiskt intressanta förrän vi har fått en vätgasinfrastruktur. När den är på plats, kommer det säkerligen ett genomslag för dessa applikationer.

### *Bärbar elektronik*

Det här området går inte att prognostisera. Inte ens de stora tillverkarna själva, som Panasonic, Toshiba m.fl. tycks kunna bedöma utvecklingen i deras egna företag. Den kritiska faktorn är fysiska storleken inklusive energilager, styrelektronik mm. Bränslecellssystemen tenderar att bli större än motsvarande batteri. Även temperaturerna är ett problem. Bränslecellen blir varmare än batteriet. Behovet av en infrastruktur för bränslepatroner bromsar också. Bränslecellen lämpar sig för den som vill ha lång drifttid utan laddningsmöjlighet, men här finns det redan lösningar med extrabatterier, som är väl så smidiga. De största elektronikföretagen har färdiga bränslecellskoncept, som de kan sätta i produktion då/om tiden är mogen.

### **Olika bränslecellstekniker**

Hittills, i denna rapport, har bränslecellen beskrivits som om det handlade om EN teknik. Så är inte fallet. Det finns ett antal olika tekniker varav de viktigaste idag är:

PEMFC      *Polymer Exchange Membrane Fuel Cell*



Den vanligaste och mest mogna bränslecellstekniken för mobila applikationer och effekter under 50 kW. Det är PEMFC, som vi kommer att få se i framtidens bränslecellsbilar. PEMFC kräver mycket ren vätgas och är därför ett tveksamt val i anläggningar, som skall drivas på t.ex. biogas.

- LTPEMFC** *Low Temperature PEMFC*  
Den klassiska och vanligaste PEMFC tekniken. LT står för Låg Temperatur
- HTPEMFC** *High Temperature PEMFC*  
Arbetar vid högre temperatur och är därmed något tåligare för föroreningar.
- DMFC** *Direct Methanol Fuel Cell*  
Direktmetanolbränslecellen som drivs av en metanol-vattenblandning. DMFC behöver 10 ggr mer platina än motsvarande PEMFC. Därför är tekniken bara intressant vid effekter < 100W. Möjligheten att tanka med ett flytande bränsle gör den intressant för bärbar elektronik.
- SOFC**  
En keramisk bränslecell, som arbetar vid höga temperaturer, vanligtvis över 800°C. SOFC tekniken ligger lite efter i utvecklingen. De bästa systemen har möjligtvis nått teknisk mognad. Tekniken är lämpad för anläggningar, som skall drivas på andra bränslen än vätgas. Till skillnad från andra bränslecellstekniker, så har inte SOFC något typiskt effektområde, utan kan förekomma i system mellan 10W – 100kW. SOFC är känsligt för start och stopp, och start- och stopptiderna kan vara så långa som 12-24 timmar. Ibland anger man livslängden i antalet start och stopp. Bäst gör sig tekniken därför i anläggningar för kontinuerlig drift, som inte behöver stängas av. Parallellt sker utveckling av metodiker för start och stopp som inte skadar bränslecellen.
- MCFC**  
Den för närvarande mest attraktiva tekniken för stationära anläggningar >200 kW. Tekniken är för komplex för att använda i små system. Systemen är dock väl lämpade för just biogas och säljs ofta till vattenreningsverk. Till skillnad från PEMFC och SOFC, så finns det inget industriellt intresse i Sverige för MCFC.
- PAFC**  
Den mest beprövade tekniken för stationära anläggningar >100 kW och fortfarande den teknik som uppvisar bäst livslängd. MCFC och PAFC är direkta teknikkonkurrenter då de arbetar inom samma effektområde. MCFC konkurrerar dock oftast ut PAFC idag på grund av högre verkningsgrad och större bränsleflexibilitet. Även PAFC lämpar sig väl för biogas och är möjligen något mer realistisk för gårdsanläggningar än MCFC då den går att få i effekter ner till 100 kW (Fuji Electric) och är lättare att skala nedåt. Tekniskt finns det stora likheter mellan HTPEMFC och PAFC. Bägge dessa tekniker kräver mer platina per kW än LTPEMFC.  
Det finns inget industriellt intresse i Sverige för PAFC.

	LT-PEMFC	HT-PEMFC	SOFC	PAFC	MCFC
Drifttemperatur °C	60-90	120-180	600-850	200-220	650-800
Bästa verkningsgrad från metangas	40-45%		60%	42%	50-60%
Lämpar sig främst för effekter	2W-60kW	10W-10kW. För dyrt för större system	20W-svårbedömd övre gräns, kanske 100kW	(50?)100-400 kW	300kW-3MW
Kostnadskommentar	Tabellreferens	Dyrare. Kräver mer platina	Kortsiktigt dyrt. Långsiktigt billigt	Kräver mer platina	Billigt per kW

Det är många tekniker och kan verka rörigt. För applikationen små biogasanläggningar väl, under 100 kW, står dock valet mellan

- LTPEMFC    Här ska man vara kritisk mot föroreningskänsligheten  
HTPEMFC    Finns det ganska få av på marknaden och de som finns är dyra.  
SOFC        Här ska man vara kritisk mot om produkten är tekniskt mogen, samt hur den klarar start och stopp.

För effekter runt 100 kW är PAFC intressant och för än högre effekter även MCFC.

För systemuppbyggnad och kostnadsbild är det en stor skillnad mellan PEMFC och SOFC. Bränslecellen omvandlar vätgas till elektricitet, värme och koldioxid. Biogas består av typiskt cirka 65% metangas, cirka 35% CO<sub>2</sub> samt föroreningar främst CO, svavelföreningar, ammoniak och siloxaner. Koldioxiden är inert i bränslecellen, men metangasen måste omvandlas i en s.k. reformer till vätgas och koldioxid och nämnda föroreningar måste renas.

Systemlösningen för PEMFC blir mer komplex då den kräver en separat reformer och omfattande rening för att inte förstöra den känsliga PEMFC cellen. SOFC cellerna är mer tåliga mot föroreningar och kan delvis reformera enkla bränslen, såsom metangas internt i bränslecellsstacken. Systemet blir därför enklare.

Att SOFC systemet blir enklare betyder inte att det blir billigare. Än så länge är dessa keramiska celler dyrare än PEMFC celler. Allt fler kostnadsanalyser visar dock att även själva SOFC cellerna på lång sikt, när teknikmognad har nåtts, kommer att bli billigare än PEMFC.

En rimlig bedömning är därför att reformerbaserade PEMFC system för biogas inledningsvis kommer att vara billigare och dominera marknaden, men att SOFC tekniken på lång sikt kommer att vara ekonomiskt fördelaktigare och ta marknadsandelar. I Japan säljs 80% PEMFC system och 20% SOFC.

Den högsta verkningsgraden på marknaden för SOFC system från naturgas är 60% (Ceramics). Hydrogenics har strax under 50% verkningsgrad på PEMFC-system utan reformer. En reformer kan nå 90% verkningsgrad. Gasreningen adderar en del förluster. En totalverkningsgrad på 40 -45% för ett reformerbaserat PEMFC system bör vara möjligt. SOFC systemen ger alltså högre verkningsgrad än PEMFC systemen. Denna verkningsgradsskillnad slår starkt i bondens ekonomiska kalkyl.

## Biogas i ett Då-Nu-Sedan perspektiv

Biogasproduktion har en månghundraårig tradition främst i Kina. I slutet av 1800 talet kom de första kommersiella tillämpningarna i Europa. Fram till 1970 talet var biogas främst en biprodukt när man rötade slam vid reningsverken.

Efter oljekriserna i början på 1970-talet startades på JTI och SLU i Uppsala omfattande forskningsprojekt kring att utveckla biogasproduktion inom jordbruket. Dessa försök resulterade i ett mindre antal försöks och demoanläggningar på olika platser i Sverige. En av de första gårdsbaserade biogasanläggningarna byggdes på Vikens försöksgård utanför Falköping. Som ett resultat av detta startade Skanska i början av 1980-talet företaget Biosystem i Växjö som skulle specialisera sig på att utveckla och sälja biogasanläggningar över hela världen. T.o.m. början på 1980-talet var Sverige ledande inom biogasproduktion men tyvärr sjönk kompetensnivån sedan på grund av att de låga oljepriserna minskade motivationen att investera i denna förnyelsebara energi. Det var t.o.m. början av 1990-talet bara biogasproduktion vid reningsverken som fortsatte. Om biogasen inte facklades bort användes den främst för uppvärmning och i viss mån kraftvärme (CHP) produktion.

Under 1990-talet började intresset för biogas i Sverige åter öka genom olika större samrötningsprojekt med organiskt avfall samt uppgraderande av biogas till fordonsgas. Volvo lanserade bl.a. sin första Bi-Fuel bil för biogas 1993 vilket satte fart på utvecklingen av marknaden för fordonsgas i Sverige.

Den gårdsbaserade biogasproduktionen har utvecklats mycket långsamt i Sverige främst beroende på dålig driftsekonomi och låga offentliga subventioner.

2012 hade vi Sverige följande antal biogasanläggningar i Sverige:

Anläggningstyp	Antal anläggningar	Antal Mesofila	Antal Termofila	Rötkammarvolym volym (m <sup>3</sup> )
Avloppsreningsverk	135	124	11	333 978
Samrötningsanläggningar	21	14	7	140 099
Gårdsbiogasanläggningar	26	25	1	31 264
Industrialanläggningar	5	5	0	54 200
Deponigasanläggningar	55	-	-	-
Summa:	242	168	19	559 541

*(Energimyndigheten/Energigas Sverige 2013)*

2012 producerade de svenska biogasanläggningarna 1 589 GWh energi vilket var en ökning på 8 % jämfört med 2011. Av detta producerades endast 3 % i gårdsbiogasanläggningar.

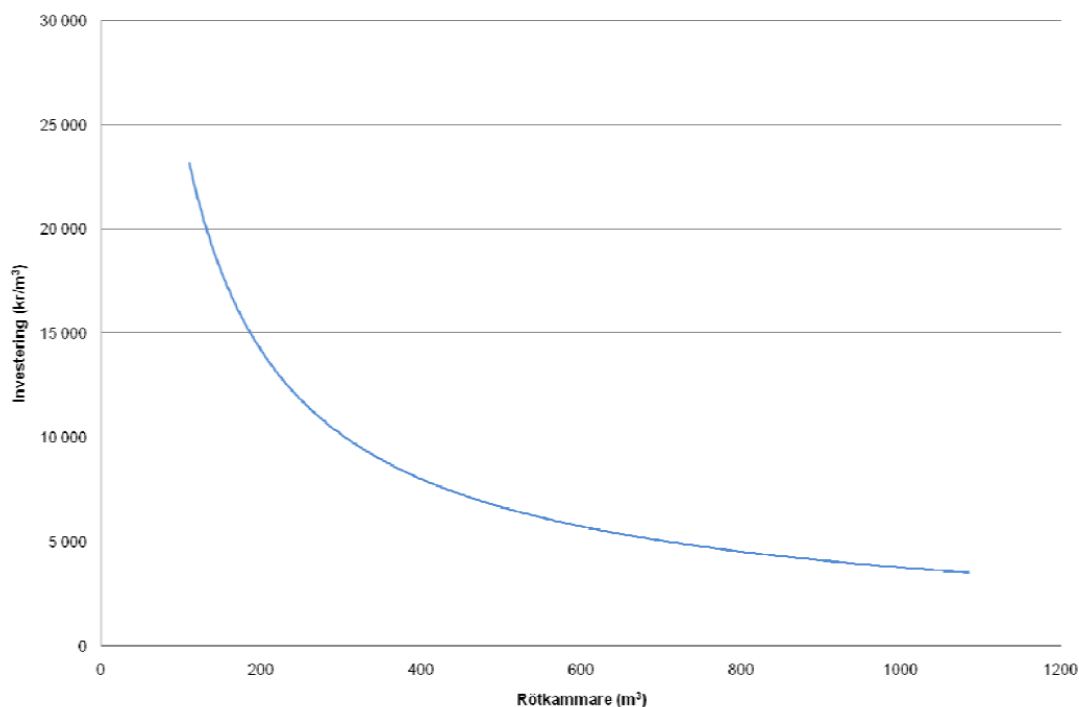
Under samma år gick mer än hälften 53 % av biogasen till uppgradering (främst fordonsgas). Till värmeproduktion användes 33 %, elproduktion 3 % och 10 % facklades bort. (Energimyndigheten/Energigas Sverige 2013)



*En svenskbyggd gårdsbiogasanläggning med en 550m<sup>3</sup> rötchammare som rötar 7000 m<sup>3</sup> svingödsel/år med en eleffekt på 50 kW. Levererad av Byggplant /Browik (Foto: Hushållningsällskapet)*

Som en jämförelse införde man i Tyskland i slutet av 1990-talet generösa fasta inmatningstariffer för el producerad från biogas vilket medförde en explosionsartad utveckling av gårdsbaserad biogasproduktion. Idag har man ca 7500 gårdsbiogasanläggningar över hela Tyskland. När nu den tyska regeringen sänker dessa inmatningstariffer för större anläggningar har marknaden mer eller mindre kollapsat. Stödet prioriterar nu mindre anläggningar som rötar minst 80 % gödsel och producerar max 75 kW el. Dessa får 0,25 € /kWh (ca 2,17 SEK/kWh) varför det nu sker en utveckling av dessa småskaliga anläggningar. Denna satsning har resulterat i utvecklingen av en mycket stark tysk industri inom biogasteknik där man är marknadsledande inom i stort sett alla områden.

Den relativt dyra del av en gårdsbiogasanläggning som är gemensam för alla storlekar missgynnar mindre anläggningar i kostnad per producerad m<sup>3</sup> biogas. I diagrammet nedan syns detta tydligt och en anläggning bör ha en rötchammarevolym över 500m<sup>3</sup> bör för att vara ekonomisk. Detta motsvarar vid rötning av gödsel en gasmotoreffekt på ca 30-50 kW el. En sådan komplett biogasanläggning kostar idag ca 4,5-5 Mkr.



*Skaleffekten på investeringskostnaden i en gårdsbiogasanläggning avseende investeringen i kr/m<sup>3</sup> rötkammare vid olika rötkammarstorlekar (Christensson m.fl. SGC 2009)*

Enligt den tyska föreningen för bioenergi FNR ([www.fnr.de](http://www.fnr.de)) uppskattar man 2013 följande investeringskostnader i Tyskland för biogasproduktion:

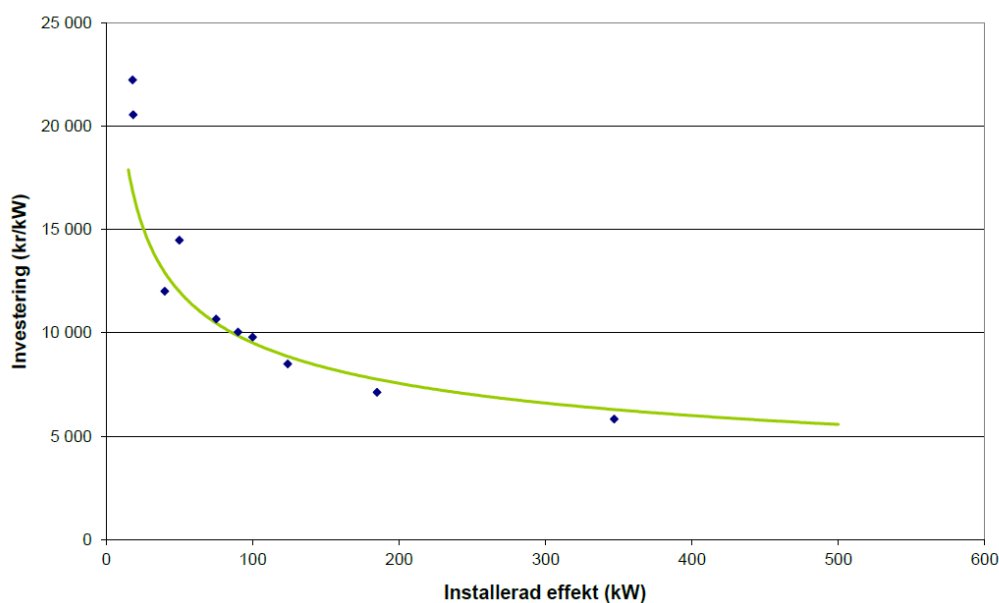
Biogasanläggning kraft/värme (CHP) 75 kW el	ca 79 000 kr/kW el (9000€)
Biogasanläggning kraft/värme (CHP) 150 kW el	ca 57 000 kr/kW el (6500€)
Biogasanläggning kraft/värme (CHP) 250 kW el	ca 50 800 kr/kW el (6000€)
Biogasanläggning kraft/värme (CHP) 500 kW el	ca 40 000 kr/kW el (4500€)
Biogasanläggning kraft/värme (CHP) 1 MW el	ca 31 000 kr/kW el (3500€)
Uppgradering till biometan/fordonsgas 500 Nm <sup>3</sup> /h	ca 66 000 kr/Nm <sup>3</sup> h (7500€)
ORC – anläggning 75kW el	ca 35 000 kr/kW el (4000€)
Mikro gasturbin 65kW el	ca 17 600 kr/kW el (2000€)
Biometan produktion 500 Nm <sup>3</sup> /h	ca 0,69 – 0,74 kr/kWh (7,8-8,4 ct/kWh)
Biometan produktion 2000 Nm <sup>3</sup> /h	ca 0,56 – 0,62 kr/kWh (6,4-7,0 ct/kWh)

En gårdsbiogasanläggning med en gasmotor som ger 50 kW el med en rötkammare på 550 m<sup>3</sup> ger med det svenska diagrammet ovan en investering på 3,3 MSEK och enligt tyska FNR 3,9 MSEK. Notera att det i den svenska kostnaden tillkommer kraft/värmeneheten för ca 500 000 SEK varför siffrorna överensstämmer väl. Med hänsyn till det tuffare svenska klimatet bör tyska kostnadskalkyler räknas upp en aning med tanke på behovet av bättre isolering.

Produktion av uppgraderad biogas till biometan eller fordonsgas (min 97 % metan) har varit det lönsamaste alternativet men har hittills krävt storskalig produktion för att kunna bära kostnaderna för investering i uppgraderingstekniken. Men nu kommer ny teknik som pressar ned kostnaderna för småskalig uppgradering varför större gårdsanläggningar även kommer att kunna leverera fordonsgas. Ett problem kan dock vara att få leverera via distributörerna som normalt driver tankställena. Efterfrågan på biometan till fordonsgas styrs ju av storleken

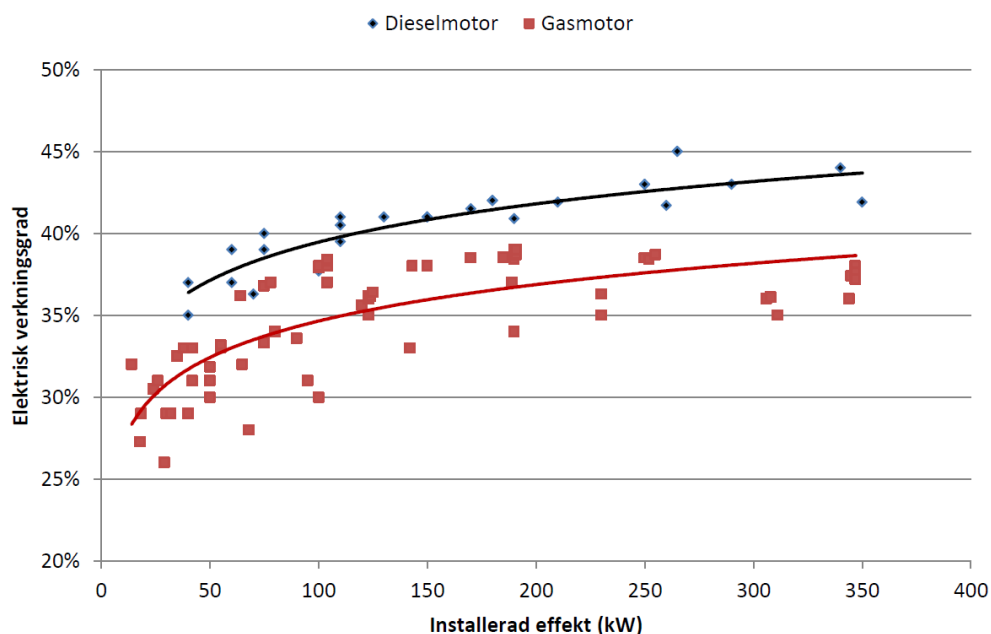
på fordonsflottan som i sin tur styrs av alternativa kostnader för fossila bränslen och olika politiskt styrda subventioner. Vid en snabb expansion av produktionen av biometan för fordonsgas finns en risk för överproduktion och att vissa biogasanläggningar, speciellt de som ligger långt ifrån tätorter kan få ekonomiska problem.

Dagens gårdsbiogasanläggningar använder främst biogasen till kraftvärmeproduktion med gasmotorer. Eftersom de flesta svenska gårdsbiogasanläggningar är relativt små är det konverterade ottomotorer med tändstift som dominerar. I Sverige har vi befrielse från energiskatt under 100 kW el vilket också begränsar storleken på motorerna. Problemet är att dessa små motorer tenderar att ha en låg elverkningsgrad och högre underhållskostnader per producerad kWh. Följande diagram från en rapport av Mikael Lantz (2009) beskriver detta väl.



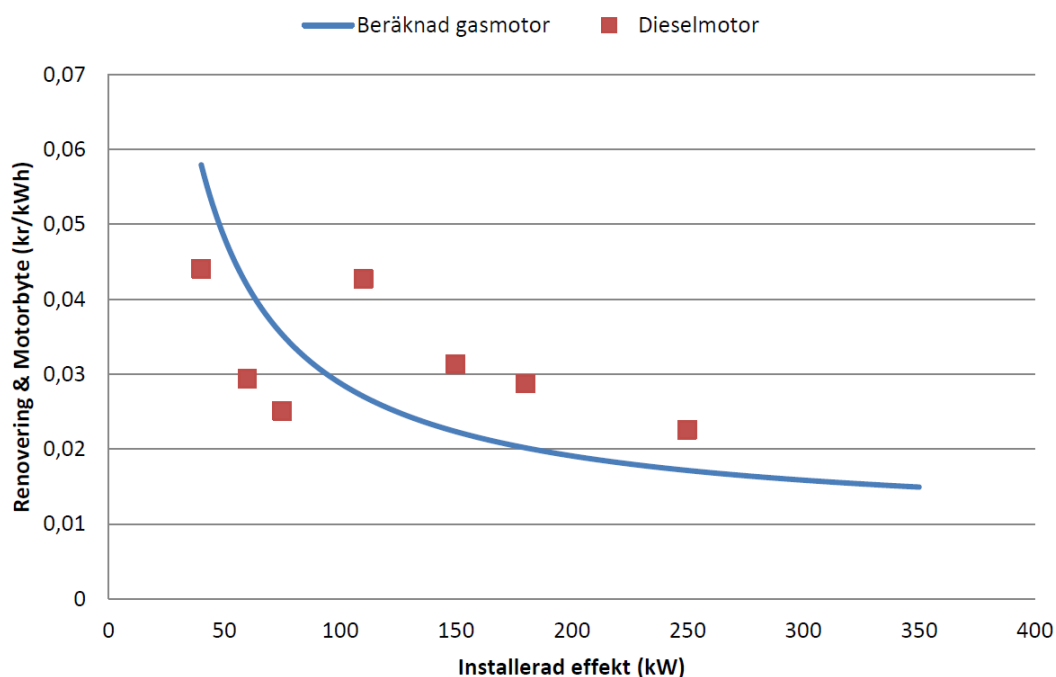
*Investeringsnivåer för gasmotorer per kWh el (Lantz, 2009)*

I diagrammet ovan ses tyvärr att de för svenska gårdsbiogasanläggningar intressantaste motorstorlekarna 30-100 kW el ger de högsta kostnaderna per investering i kr/kWh el.



*Elektrisk verkningsgrad vid olika effektnivåer för biogasmotorer. Notera att med dieselmotorer avses dual-fuel och med gasmotorer avses ottomotorer (Lantz, 2009)*

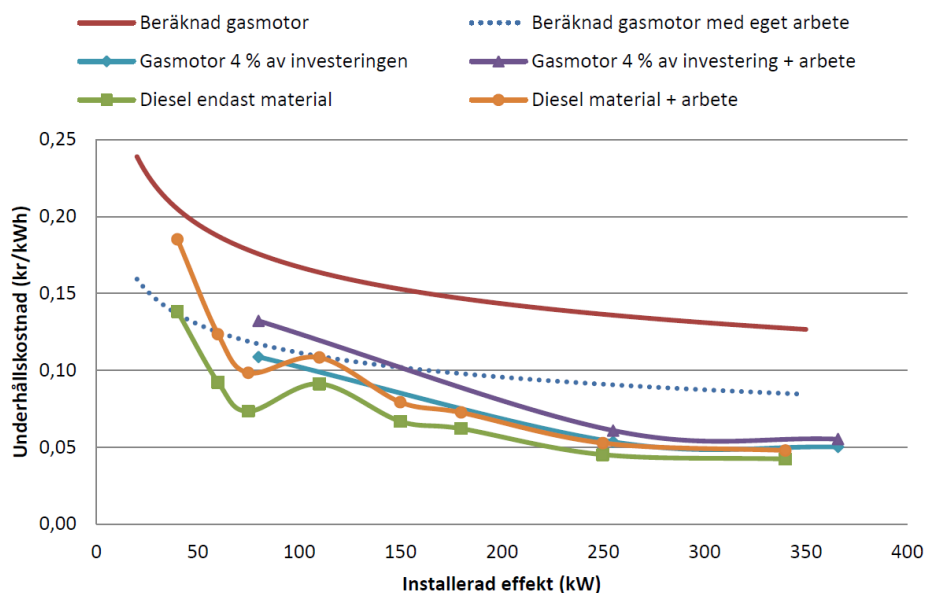
En typisk svensk biogasmotor på en gård med en effekt mellan 30-100 kW el har en verkningsgrad mellan 27-34 %. Notera att riktigt stora industriella gasmotorer uppåt 1 MW har verkningsgrader runt 42-45 %. Dual-Fuel motorer är dieselmotorer avsedda för en blandning av en mindre mängd, ofta 10%, diesel och resten bio- eller naturgas. Utbudet av dual-fuelmotorer är mycket begränsat och de finns inte kommersiellt tillgängliga för låga effekter.



*Kostnad för renovering och motorbyte per kWh el (Lantz, 2009)*

*Notera att med dieselmotorer avses dual-fuel och med gasmotorer avses ottomotorer*

Större renoveringar av gasmotorer sker normalt genom byte till utbytesmotor efter ca 25 -45 000 timmar (3-5 år) därefter kan motorn gå lika länge till varför en total maximal livslängd upp till 80 000 timmar har rapporterats (Lantz, 2009). Men eftersom gasmotorer är relativt billiga är det även vanligt att sätta in en fabriksny motor direkt. Den totala underhållskostnaden uppskattas ofta till 0,15 kr per producerad kWh el (Hushållningsällskapet) men är även beroende av motorns effekt, se diagram nedan.



*Underhållskostnad för gas och dieselmotorer per kWh el (Lantz, 2009)*

*Notera att med dieselmoter avses dual-fuel och med gasmotorer avses ottomotorer.*

**Dagens kraftvärmeverk för biogas har tre huvudproblem låg elektrisk verkningsgrad, höga underhållskostnader samt utsläpp av buller och avgaser.**

Även om det finns stor motorkompetens i Sverige så finns det på grund av den begränsade hemmamarknaden få konverterare till gasmotorer. Därför är de flesta kraftvärmeverken (CHP) för biogas idag importerade främst från Tyskland.

## En färsk analys av marknadssituationen för bränsleceller för biogas och naturgas

Sammantaget pågår en mycket stark satsning på bränslecellsbaserade kraftvärmeaggregat,  $\mu$ CHP i världen med såväl många systemutvecklande industrier som ett starkt offentligt stöd. Ledande länder är Japan, Tyskland, England, Danmark och USA.

Satsningarna divergerar vad avser bränslecellstekniken mellan LTPem och HTSOFC, men är i övrigt förhållandevis konvergenta. I Japan, som svarar för den största marknaden idag (2013) har PEMFC 80% marknadsandel och SOFC 20%.

Uteslutande används ångreforming.

Fokus ligger på naturgas som bränsle. En del tillverkare, främst i Japan, satsar även på fotogen eller gasol. Det är förhållandevis få som satsar på biogas och av dem som hävdar att



de fokuserar på biogas, så avses ofta uppgraderad biogas renad från koldioxid, svavelväte, ammoniak, siloxaner och klorider, så att gasen sammansättningsmässigt motsvarar naturgas.

Av de få företag som satsar på icke uppgraderad biogas, så är dock uppfattningen att det behövs en ganska enkel konvertering relativt ett naturgassystem, förutsatt att den använda reformertekniken fungerar effektivt även med avsevärt CO<sub>2</sub>- innehåll i biogasen. Biogasens föroreningar kan förhållandevis enkelt och effektivt tas om hand av ett aktivt kolfilter och anpassade kemiska absorbtionsfilter med kommersiellt tillgängliga kemikalier .

Svängningarna i biogasens metankoncentration och flöde kräver en reformer som snabbt anpassar sig till inflödet.

Nästan alla fokuserar på 1 kW eleffekt, vilket är väl lite för en gårdsapplikation. Orsaken till detta är att stora statliga program i Japan och USA begränsar subventionerna till CHP för max 1 kW. Ett fåtal undantag finns lyckligtvis. Det är framförallt i USA som man har haft fokus på högre effekter.

Såväl kostnadsbilder som tidsplaner är också mycket kongruenta. De flesta är djupt involverade i fältprov och planerar en lansering 2015. Priset för att köpa en fältprovsprototyp ligger normalt på cirka 200.000 SEK/1kW system och det planerade seriepriset 2015 ligger typiskt på 50.000 SEK/1kW system.

Viljan att leverera fältprovssystem före 2015 varierar starkt, men är i snitt ganska god. Tekniskt förefaller pågående fältprov ha fallit ut bra. Ett fåtal tekniska problem (normalt för fältprov) har ofta funnits. Livslängderna varierar starkt med leverantör och ligger som bäst på 20.000 timmar med förhoppningar att nå 60.000 timmar år 2015.

**μCHP**

• Baxi Innotech	<a href="http://www.baxi-innotech.de">www.baxi-innotech.de</a>	LTPEM	Biogas
• Bosch	<a href="http://www.bosch.com">www.bosch.com</a>	SOFC	
• Dantherm	<a href="http://Dantherm-power">Dantherm-power</a>	PEMFC	
• Hexis	<a href="http://www.hexis.com">www.hexis.com</a>	SOFC	
• Ceres Power	<a href="http://www.cerespower.com/">www.cerespower.com/</a>	LTSOFC	
• Ceramics	<a href="http://www.ceramicfuelcells.de">www.ceramicfuelcells.de</a>	SOFC	
• Elcore	<a href="http://www.elcore.com">www.elcore.com</a>	HTPEM	
• RBZ	<a href="http://www.rbz-fc.de">www.rbz-fc.de</a>	LTPEM	
• SOFCPower	<a href="http://www.sofcpower.com">www.sofcpower.com</a>	SOFC	
• Vaillant	<a href="http://www.vailant.de">www.vailant.de</a>	SOFC	
• Metacon	<a href="http://www.metacon.se/">www.metacon.se/</a>	PEMFC	Biogas
• Buderus	<a href="http://www.buderus.com">www.buderus.com</a>	SOFC	
• Viessman	<a href="http://www.viessmann.com">www.viessmann.com</a>	LTPEM	
• Inhouse	<a href="http://www.inhouse-engineering.de/">www.inhouse-engineering.de/</a>	PEMFC	Biogas
• Hyteon	<a href="http://www.hyteon.com/">www.hyteon.com/</a>	HTPEM	
• JX-group (Nippon Oil)	<a href="http://www.no.e.jx-group.co.jp/english/">www.no.e.jx-group.co.jp/english/</a>	SOFC	
• NGK	<a href="http://www.ngk.co.jp/english/research/energy.html">www.ngk.co.jp/english/research/energy.html</a>	SOFC	
• Clear Edge Power	<a href="http://www.clearedgepower.com/">www.clearedgepower.com/</a>	PEMFC + PAFC	
• Ebara	<a href="http://www.ebara.com/en/">www.ebara.com/en/</a>		
• Kyocera	<a href="http://global.kyocera.com/news/solar/index.html">global.kyocera.com/news/solar/index.html</a>	SOFC	
• Aisin Seiki	<a href="http://www.aisin.com/product/energy/">www.aisin.com/product/energy/</a>	SOFC	
• Hitachi Zosen	<a href="http://www.hitachizosen.co.jp/english/index.html">www.hitachizosen.co.jp/english/index.html</a>	SOFC	
• Panasonic	<a href="#">Panasonic länk</a>	PEMFC	
• Toshiba FuelCellPowerSystems	<a href="#">Toshiba länk</a>	PEMFC + PAFC	
• IRD	<a href="http://www.ird.dk/solutions/MicroCHP.aspx">http://www.ird.dk/solutions/MicroCHP.aspx</a>	PEMFC	
• Intelligent Energy (IE-CHP)	<a href="http://www.ie-chp.com/">http://www.ie-chp.com/</a>	PEMFC	
• Mayur REnergy Solutions	<a href="http://mayurrenergy.com/">http://mayurrenergy.com/</a>	SOFC	

De allra flesta har en uteffekt på cirka 1 kWe.

Metacon, Inhouse, RBZ, Fuel Cell Energy, Intelligent Energy och Clear Edge utmärker sig genom att arbeta med något högre effekter.

Alla är ännu besvärande dyra, men de flesta har som mål att nå marknadsanpassade priser runt 2015.

Samtliga system utom Metacon är utvecklade för naturgas eller LPG. De flesta har åtminstone en mindre aktivitet på gång, eller planerad, för biogas. Tre tillverkare anger att de klarar biogas idag, det är Baxi, Metacon och Inhouse.

Baxi och Ceramics utmärker sig med de tuffaste livslängdslöftena: 10 år vid 7000h/år. Detta dock bara om man tecknar servicekontrakt. Clear Edge lovar 5 år.

Ceramics utmärker sig med marknadens i särklass högsta verkningsgrad på 60%.

De flesta japanska tillverkare, Clear Edge och Ceramics har marknadsfärdiga system. De flesta tyska tillverkare marknadsintroducerar sina system hösten 2013 eller under 2014.

Metacon är det enda svenska företaget

#### CHP

- |                         |   |             |               |
|-------------------------|---|-------------|---------------|
| • Fuel Cell Energy      | <a href="http://www.fuelcellenergy.com/">http://www.fuelcellenergy.com/</a> | MCFC + SOFC |               |
| • MTU Onsite Energy     |   | MCFC        |               |
| • Ansaldo Fuel Cells    |   | MCFC        |               |
| • Posco Power           |   | MCFC        |               |
| • Fuji Electric Company |   | PAFC        |               |
| • Hydrogen Corporation  |   | PAFC        |               |
| • Bloom Energy          | <a href="http://www.bloomenergy.com/">http://www.bloomenergy.com/</a>       | SOFC        |               |
| • Wärtsilä              |   | SOFC        |               |
| • Acumentrics           |   | SOFC        |               |
| • Hitachi Zosen         | <a href="http://www.hitachizosen.com/">Hitachizosen</a>                     | SOFC        |               |
| • Ballard               |   | PEMFC       | Kräver vätgas |

## Några spridda exempel på företagsprofiler

Detta underkapitel är avsett att ge en helhetsbild av marknaden. I nästa underkapitel plockar vi ut extra intressanta leverantörer

### JX-group (Nippon Oil)

JX startade sina aktiviteter inom bränslecellsområdet med att fokusera på CHP på 100-tals kW. 2005 ändrade de kurs och fokuserade på den gemensamma målsättningen inom den japanska satsningen Ene-Farm där målet är att ta fram  $\mu$ CHP med en eleffekt runt 1 kW. Initialt fokuserade de på PEMFC och dessa system har sålts på den japanska marknaden sedan 2009 under handelsnamnet Eneos. 2012 kostade ett system 25.000€ före reduktion med skatterabatten på 7.000€. Ungefär samtidigt med den kommersiella lanseringen av PEMFC-systemet, så styr JX över sitt fokus mot ett SOFC på 0,7 kW, som de anser blir långsiktigt billigare, främst genom en mycket enklare reformer.

JX säljer bara i Japan, men planera nu för export via agenter.

På en bild, som troligtvis avser deras SOFC system anger de 45% elverkningsgrad och 42% NYTTIGGJORD värmeenergi, vilket ger en total verkningsgrad på 87%. Observera att många  $\mu$ CHP och CHP system kan generera mer värme än vad som kan nyttiggöras i den aktuella installationen, varför man måste skilja på systemets leverans av värme och nyttiggjord värme.

### NGK

Japanska NGKs kärnkompetens är keramer och elkraft/elektronik. Det är därför inte förvånande att de även nu satsar på SOFC för  $\mu$ CHP. Deras mål är att komma ner från en typisk arbetstemperatur på 850°C till 600°C, vilket bland annat ger möjligheter att minska materialproblemen, som hänger samman med höga temperaturer. Systemen är ännu inte kommersialiserade.

### Toshiba

Då likheterna mellan de japanska systemen är stor och Panasonic beskrivs nedan, så tas här bara upp Toshibas intressanta tillförlitlighet.

Toshiba lanserade en ny version av sitt PEMFC-system i mars 2012. Denna har 80.000 timmars livslängd. Tidigare version krävde utbyte av själva bränslecellerna i halvtid, men det kräver inte den nya modellen. Garantitiden är 10 år.

Underhållsbehovet är reducerat från en gång vartannat år till en gång vart tredje år och tar bara en halvtimme.

### IRD

Det danska företaget IRD arbetar med PEMFC. De tar upp  $\mu$ CHP som ett fokusområde på sin hemsida och företaget har anläggningar i fältprov. Det förefaller dock vara långt kvar till kommersialisering

### Mayur REnergy Solutions

Indiska Mayur REnergy Solutions har ambitionen att ta fram en SOFC baserad  $\mu$ CHP anläggning för Indien till ett mycket lågt pris. Den grundläggande teknikutvecklingen drivs av det tyska Fraunhofer institutet. En prototyp skall finnas färdig 2014.

**Dantherm**

Danska Dantherms huvudfokus inom bränsleceller är backup system. De har ett pågående FoU-projekt inom  $\mu$ CHP och fokuserar på PEMFC. Företagets filosofi är att vara systemintegratorer och köpa delmoduler.

**Bosch**

Tyska Bosch thermotechnology avser sälja 70 SOFC  $\mu$ CHP system 2014 i Tyskland, Frankrike, England och Holland. Systemet är på 0,7 kWe och är avsett för små hem. SOFC tekniken köper de från Japan.

**Ceres Power**

Engelska Ceres Power är den industriella aktör som ligger längst framme med en speciell lågtemperaturvariant av SOFC (LTSOFC). Normalt arbetar SOFC med en arbetstemperatur på cirka 850°C, medan Ceres Powers system arbetar vid 500 - 600°C. Likt konkurrenter med samma ambitioner, så har man bytt ut yttriumstabiliserad zirkonium som aktivt material mot dopad ceriumoxid.

Systemen säljs av British Gas.

**Inhouse Engineering**

Tyska Inhouse Engineering är som namnet anger mest en ingenjörfirma, som tar fram PEMFC-lösningar på kundorder. Företaget arbetar i mycket nära samarbete med RBZ, som de äger aktier i. De bägge företagen har utvecklat ett  $\mu$ CHP-system tillsammans.

## Speciellt intressanta leverantörer

### Clear Edge Power

Det amerikanska företaget Clear Edge Power bildades 2003. År 2013 köpte företaget in det i sammanhanget anrika bränslecells företaget UTC Power som är specialiserade på PAFC i effekter över 100 kW och fanns med redan då USA drev sitt rymdprogram på 60-talet. Dagens PAFC baserade produkt är CHP-system på 400 kW. Jämfört med teknikkonkurrenten MCFC har systemen lägre verkningsgrad, men längre livslängd. Kapitalkostnaden per år är lägre för PAFC än MCFC.

Clear Edges egenutvecklade produkt är en större  $\mu$ CHP på 5 kW. Första demoanläggningen stod färdig 2007. 2008-2012 har man successivt övergått från fälttest till förserier. Systemen är anpassade för naturgas, bygger på PEMFC teknologi, har en elverkningsgrad på 40% och en totalverkningsgrad på 90% vid utnyttjande av spillvärmen. Utgående värmen håller en låg temperatur, men kan t.ex. användas för golvvärme. Priset är 73.000 SEK/kW, vilket är lägre än för de flesta konkurrenter.

### Hitachi Zosen

Japanska Hitachi Zosen utvecklar ett 50 kW SOFC system som skall kunna gå på olika bränslen bland annat stadsgas, biogas och metanol. Tekniken bygger på SOFC teknik från finska Wärtsilä, som i sin tur bygger på teknik från danska Haldor Topse. Systemet ligger i ett intressant effektområde, som passar för lantbruksapplikationer och där det är ont om andra leverantörer. Tyvärr är rapportförfattarens bedömning att systemet har långt kvar till marknaden och att det är en stor risk att man kommer att fokusera på stadsgas, vilket passar för den japanska marknaden.

### Panasonic

Representerar hur långt man har kommit i Japan idag. Då Panasonic fokuserar på stadsgas, så är de dock mindre intressanta för den svenska marknaden.

Den 1 april 2013 lanserade Panasonic en ny version av sitt  $\mu$ CHP system. Systemet bygger på PEMFC teknik och har en elektrisk uteffekt på 750 We. Panasonic hävdar att systemet har högst totalverkningsgrad (om både värmen och elen utnyttjas) på marknaden och att den ligger på 95%. Den gamla modellen såldes i totalt 21.000 exemplar fram till 31 dec 2012. Den nya modellen är 28% billigare och uppges ha en livslängd på 60.000 timmar.

Kostnadsänkningarna har nåtts genom färre komponenter och andra materialval. Den nya modellen kostar 132.000 SEK (motsvarar 176.000 SEK/kWe) och säljs bara i Japan.

Den 12 september 2013 släppte Panasonic en pressrelease att de har börjat ta fram en version anpassad för Europa tillsammans med tyska Viesmann. Försäljningen på den tyska marknaden börjar april 2014.

### Intelligent Energy (IE-CHP)

Det engelska företaget IE-CHP där produktframtagningen sker hos Intelligent Energy är intressanta för att de med sitt 10 kW system fokuserar på ett effektområde där det är ont om leverantörer. Intelligent Energy använder PEMFC. Produkten är i tidigt fältprovsstadium och har långt kvar till marknadsintroduktion.

Intelligent Energy har traditionellt haft ett för splittrat marknadsfokus för att nå kommersiella framgångar. 2008 bildade de dock IE-CHP som ett joint venture med ett energibolag SSE. IE-CHP skall fokusera på enbart  $\mu$ CHP. Förutom 10 kW systemet, så har de även ett 1 kW system.

### **Bloom Energy**

Amerikanska Bloom Energy säljer SOFC baserade elgeneratorer på 100kW, 160kW och 200kW för naturgas och uppgraderad biogas. Företaget är älskat och hatat. De är kritiserade för att ha en låg teknisk nivå med gammaldags SOFC teknik. De är kritiserade för en ytlig marknadsföring. De är kritiserade för att inte utnyttja den genererade värmen genom CHP, men....

Eftersom bränsleceller ännu inte är kommersiellt mogen teknik, så är den en bransch som gör stora förluster. Även Bloom går med förlust, men där finns det i vart fall utrymme för en optimistisk bedömning om snar vinst, vilket är unikt i branschen. Blooms omsättning är större än summan av de fyra stora bränslecells företagen, Ballard, Fuel Cell Energy, Hydrogenics och Plug Power. Om bränslecellsbaserad CHP för effekter över 100kW skall bli mer än en dröm, så har Bloom en plats på kartan.

Blooms system har en elverkningsgrad på 50% och kostar cirka 52.000 kr/kW (eller snarare 5,2 milj kr per 100 kW). Systemen är billigare än de flesta konkurrenter.

### **Fuel Cell Energy**

Fuel Cell Energy fokuserar traditionellt på MCFC. Systemen ligger på 300 kW och kombineras ofta som moduler i system upp till flera MW. Systemen har 47% elektrisk verkningsgrad. Dessa högtemperatur system klarar att reformera enkla bränslen såsom naturgas och renad biogas internt i bränslecellen. Kostnad och effektförlust för en separat reformer utgår därför. CO<sub>2</sub> används internt i processen, vilket gör tekniken extra intressant för biogas där den höga koldioxidhalten snarast en fördel. MCFC-systemens komplexitet gör dem inte lämpade för lägre effekter än 300 kW, utvecklingen går snarare mot högre effekter. Räknat per kW är systemen betydligt billigare än små PEMFC eller SOFC system. Fuel Cell Energy's prislapp ligger på cirka 20.000 SEK/kW. Fuel Cell Energy är en av de få kandidaterna i bränslecellsindustrin till att snart nå lönsamhet. 2012 sålde de system med en sammanlagd effekt på 56 MW. Ekonomisk break even når man vid 80-90 MW. Det finns inget industriellt intresse i Sverige för MCFC.

Fuel Cell Energy har köpt upp bränslecellstillverkaren Versa Power som fokuserade på SOFC. Med sitt marknadskunnande och fokus på högeffektapplikationer, så försöker Fuel Cell Energy utveckla SOFC för lite högre effekter. För närvarande arbetar de med 60 kW och vill ännu högre. Det lär dröja innan vi får se CHP-system med SOFC från Fuel Cell Energy.

### **Metacon**

Metacon är ett svenskt företag med fokus PEMFC baserad  $\mu$ CHP för biogas. Företagets affärsidé är att industrialisera bränslecellsteknik, som tas fram av det mer forskningsnära grekiska bränslecells företaget Helbio, som utvecklat system med integrerad reformer/bränslecell. Metacon fokuserar på biogas, men naturgas, LPG och etanol har verifierats. Företaget erbjuder system med effekter från 300W till 1 MW, där mellaneffektområdet kan vara mycket intressanta för lantbruksapplikationer.

Metacon har sålt sitt första fältprovssystem till kund. Systemet är på 5 kWe. Metacon må ha långt till ett välutprovat serietillverkat system, men kan passa väl in för svenska politiska biogasmålsättningar om dessa tolkas som:

- Stora biogasflöden skall användas för att klara målen med en koldioxidfri fordonsflotta
- De små biogasflödena från lantbrukens gödsel behöver tas om hand för att minska utsläppen av metangas till atmosfären

PEM bränslecellsstackar med god kvalitet kan idag köpas från bland annat Ballard. Det som saknas för att bygga ett CHP system är bra köpbar reformerteknik. Det grekiska företaget Helbio har utvecklat en ångreformer, HIWAR, med snabb respons och kompakta mått. Snabb respons är viktigt för ett biogassystem, eftersom biogasens flöde och kvalitet varierar med tiden. Metacon fokuserar även på reformering och uppgradering av biogas till fordonsgas.

## En färsk analys av marknadssituationen för svensk gårdsbaserad biogasproduktion

Enligt en undersökning från 2008 (Linné, Björnsson m.fl. Lund 2008) har vi i Sverige en total realistiskt begränsad biogaspotential på 10,6 TWh/år varav lantbruket har den överlägset största potentialen på 8 TWh/år (75 %). Det är med andra avgörande för biogasmarknadens utveckling i Sverige att antalet gårdsbiogasanläggningar ökar från dagens mycket blygsamma nivå. Under 2012 producerade de 26 svenska gårdsbiogasanläggningar 47 GWh (Energimyndigheten/Energigas Sverige 2013) vilket motsvarar endast 0,006 % av potentialen.

Enligt en rapport från 2010 (Björnsson & Lantz, 2010) bedöms att om det föreslagna metanreduceringsstödet införs så är den praktiska potentialen för biogasproduktion från gödsel i Sverige ca 1,0-1,5 TWh vilket innebär ca 100-200 nya gårdsbiogasanläggningar.

För gårdsbiogasanläggningar har man tills idag varit hänvisad till kraftvärmeproduktion (CHP). Elen används internt skall jämföras med kostnaden för inköpt el vilket ökar förutsättningarna för lönsamhet jämfört med om elen skulle säljas. Vid försäljning av el till nätet från biogasproduktion utgår idag endast stöd i form av elcertifikat och när nu priset på dessa samt elpriserna är historiskt låga är det i Sverige princip omöjligt att bygga en biogasanläggning baserad på kraftvärmeproduktion om du inte konsumerar merparten av all el och värme inom det egna företaget. Det nu liggande förslaget från regeringen om ett metanreduceringsstöd på 20 öre/kWh baserad på produktionen av all biogas kan dramatiskt förbättra lönsamheten och ge ny skjuts till den svenska gårdsbaserade biogasproduktionen. Detta stöd är dock i dagsläget tänkt att på försök begränsas till södra Sverige. Det föreslagna metanreduceringsstödet skulle om det gäller hela landet uppskattningsvis innebära att vi de närmaste åren skulle få ca 100 nya gårdsbiogasanläggningar.

Vid svenska studier (Eliasson 2011) brukar produktionskostnaden för gårdsbaserad biogas vara ca 0,40-0,60 kr/kWh räknat på total energi. Från den totala biogasenergin fås normalt 30 % el, 60 % värme och 10 % spill. Detta innebär att om elen skall ta hela kostnaden så måste den betalas med minst 1,33-2 kr/kWh för att nå ett nollresultat. Kan värmen sälja till 0,30 kr/kWh så reduceras det lägsta elpriset för nollresultat till 0,93 – 1,60 kr/kWh. Mervärdet av rötresten som växtnäring jämfört med örötad gödsel är svår att värdera varför den inte bör tas med kalkylen vid egen användning av rötresten.

Notera att med en högre elverkningsgrad hos t.ex. bränsleceller så minskar elpriset för nollresultat avsevärt.



Tabellerna nedan visar minsta elpris i kr/kWh för nollresultat under olika förutsättningar. Parametrar är lantbrukets produktionskostnad, systemets verkningsgrad, eventuella subventioner, i vilken grad värmen kan utnyttjas och om elen säljs till nätet eller används på gården.

I oktober 2013 var priset för inköpt el för en lantbrukare ca 0,60 kr/kWh exkl. moms samtidigt var priset för såld el ca 0,40 kr/kWh plus 0,20 kr/kWh för elcertifikat = Totalt 0,60 kr/kWh. Grönt fält anger lönsamhet både vid försäljning till nätet samt eget utnyttjande av elen (<0,60 kr/kWh) Röda tecken anger markerar intervallet för produktionskostnaden på normala svenska gårdsbiogasanläggningar.

#### Scenario 1: Värmen kan inte utnyttjas

Produktionskostnad Biogas kr/kWh	Verkningsgrad el									
	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	60%	70%
0,20	2,00	1,00	0,80	0,67	0,57	0,5	0,44	0,40	0,33	0,29
0,30	3,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	0,50	0,43
0,40	4,00	2,00	1,60	1,33	1,14	1	0,89	0,80	0,67	0,57
0,50	5,00	2,50	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,83	0,71
0,60	6,00	3,00	2,40	2,00	1,71	1,5	1,33	1,20	1,00	0,86
0,70	7,00	3,50	2,80	2,33	2,00	1,75	1,56	1,40	1,17	1,00
0,80	8,00	4,00	3,20	2,67	2,29	2	1,78	1,60	1,33	1,14
0,90	9,00	4,50	3,60	3,00	2,57	2,25	2,00	1,80	1,50	1,29
1,00	10,00	5,00	4,00	3,33	2,86	2,5	2,22	2,00	1,67	1,43

#### Scenario 2: Värmen utnyttjas också och värderas till 30 öre/kWh

Prisför värme kr/kWh	Processvärme & förluster 30 %									
	Verkningsgrad el									
Produktionskostnad Biogas kr/kWh	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	60%	70%
0,20	0,20	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
0,30	1,20	0,75	0,66	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,43
0,40	2,20	1,25	1,06	0,93	0,84	0,78	0,72	0,68	0,62	0,57
0,50	3,20	1,75	1,46	1,27	1,13	1,03	0,94	0,88	0,78	0,71
0,60	4,20	2,25	1,86	1,60	1,41	1,28	1,17	1,08	0,95	0,86
0,70	5,20	2,75	2,26	1,93	1,70	1,53	1,39	1,28	1,12	1,00
0,80	6,20	3,25	2,66	2,27	1,99	1,78	1,61	1,48	1,28	1,14
0,90	7,20	3,75	3,06	2,60	2,27	2,03	1,83	1,68	1,45	1,29
1,00	8,20	4,25	3,46	2,93	2,56	2,28	2,06	1,88	1,62	1,43

Scenario 3: Det föreslagna metanreduceringsstödet införs 2014 på 0,20 kr/kWh. Värmen utnyttjas inte. Som synes ökas förutsättningarna för lönsamhet speciellt för bränsleceller med hög elverkningsgrad.

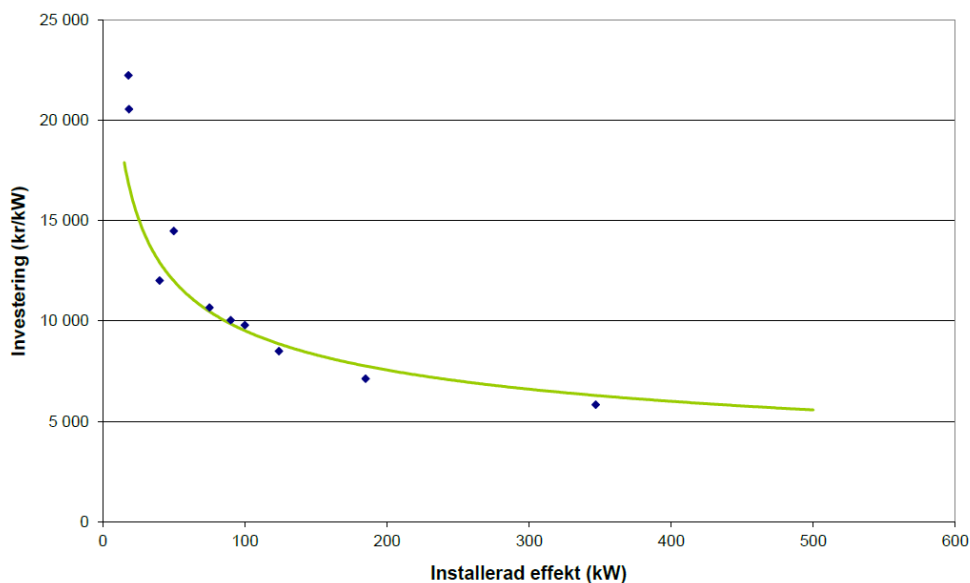
Produktionskostnad Biogas kr/kWh	Verkningsgrad el									
	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	60%	70%
0,20	2,00	1,00	0,80	0,67	0,57	0,5	0,44	0,40	0,33	0,29
0,30	3,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	0,50	0,43
0,40	4,00	2,00	1,60	1,33	1,14	1	0,89	0,80	0,67	0,57
0,50	5,00	2,50	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,83	0,71
0,60	6,00	3,00	2,40	2,00	1,71	1,5	1,33	1,20	1,00	0,86
0,70	7,00	3,50	2,80	2,33	2,00	1,75	1,56	1,40	1,17	1,00
0,80	8,00	4,00	3,20	2,67	2,29	2	1,78	1,60	1,33	1,14
0,90	9,00	4,50	3,60	3,00	2,57	2,25	2,00	1,80	1,50	1,29
1,00	10,00	5,00	4,00	3,33	2,86	2,5	2,22	2,00	1,67	1,43

Scenario 4: Som scenario 3, men värmen utnyttjas också och värderas till 30 öre/kWh

Prisför värme kr/kWh	Processvärme & förluster 30 %									
	Verkningsgrad el									
Produktionskostnad Biogas kr/kWh	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	60%	70%
0,20	0,20	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
0,30	1,20	0,75	0,66	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,43
0,40	2,20	1,25	1,06	0,93	0,84	0,78	0,72	0,68	0,62	0,57
0,50	3,20	1,75	1,46	1,27	1,13	1,03	0,94	0,88	0,78	0,71
0,60	4,20	2,25	1,86	1,60	1,41	1,28	1,17	1,08	0,95	0,86
0,70	5,20	2,75	2,26	1,93	1,70	1,53	1,39	1,28	1,12	1,00
0,80	6,20	3,25	2,66	2,27	1,99	1,78	1,61	1,48	1,28	1,14
0,90	7,20	3,75	3,06	2,60	2,27	2,03	1,83	1,68	1,45	1,29
1,00	8,20	4,25	3,46	2,93	2,56	2,28	2,06	1,88	1,62	1,43

Enligt en undersökning av Energimyndigheten 2010 använde svensk jordbruk 2008 ca 4 410 GWh vilket utgjorde 12 % av jordbrukets totala kostnader. Om jordbrukets totala potential för energi från biogasproduktion är 8 000 GWh (Linné, Björnsson m.fl. Lund 2008) så skulle energin från gårdsbiogasanläggningar teoretiskt kunna täcka näringens egen energiförbrukning.

Det skall noteras att vid en elproduktion över 100 kW så blir lantbrukaren skyldig att betala energiskatt visserligen kan man för den del som används av lantbruket ansöka om att få återbetalning så att nettoskatten bara blir 0,5 öre/kWh. Men om elen används för det privata boendet skall elskatt betalas med 29 öre/kWh. Det kan därför vara praktiskt att inte överskrida den skattefria gränsen på 100 kW el.



### Investeringsnivåer för kompletta kraftvärmesystem med motorer för biogas per kWh el (Lantz, 2009)

Som ses i diagrammet ligger investeringen för ett komplett biogasdrivet kraftvärmeverk på 50 kW el på ca 13 000 kr/kWh vilket ger ett pris på 650 00 kr. Detta stämmer alldeles utmärkt med priset på ca 650 00 kr som t.ex. Götene Gårdsgas anger för sitt kompletta svenskbyggda kraftvärmeverk på 50 kWh el levererat i en 20" container.

Avgaserna från biogasmotorer innehåller olika mängder oönskade ämnen som metan, CO, NOX, kolväten och aldehyder. Det kan i praktiken vara en svårt att optimera motorinställningen så att alla dessa ämnen håller sig inom de godkända gränsvärdena samtidigt. Här är det viktigt att gas/luft blandningen kontinuerligt ställs in efter aktuell metangashalt helst med automatik. Det finns olika reningsutrustningar på marknaden som t.ex. katalysatorer men dessa investeringar är svåra att motivera i Sverige då vi inte har tvingande regler kring eller subventioner för rening av dessa avgaser.

Dagens import av biogasdrivna kraftvärmeverk (CHP) domineras av mer påkostade system från Tyskland och billiga från Kina. Devisen "man får vad man betalar för" gäller även här. De lägre priserna från Kina skall balanseras med kostnaderna för kontroll och uppföljning av leverantörerna. Den s.k. "strulfaktorn" är också hög speciellt i början av affärsrelationen med Kina. Svenska systembyggen av bl.a. Götene Gårdsgas har visat sig konkurrenskraftiga framför allt med tyska system. Detta indikerar att det finns en utvecklingspotential för att utveckla biogasdrivna kraftvärmeverk i Sverige.

### Medelförbrukning av energi på svenska lantbruk

(Neuman, LRF 2009)

Produktionsgren	Antal gårdar	Enhet	Elenergi kWh/enhet	Diesel kWh/enhet	Totalt kWh/enhet
Mjölkproduktion	45	kg mjölk	0,122	0,032	0,154
Smågris	17	smågris	42	-	42
Slaktsvin	14	slaktsvin	29,4	-	29,4
Ägg	3	kg ägg	0,38	-	0,38
Slaktkyckling	1	kg kyckling	1,31	-	1,31
Växtodling	22	hektar		8232	823

(84 l/ha)

Ett typiskt svenskt jordbruk med biogasproduktion kan endast göra av med 5-15 % av den producerade el och värmeenergin därför kan det vara intressant att öka användningen av biogasen som fordonsgas för de egna lantbruksmaskinerna.

**En grov kalkyl för produktion av biometan (100 Nm<sup>3</sup> biogas/h) till fordonsgas på en gårdsbiogasanläggning kan se ut så här:**

Produktionskostnad biogas	0,50 kr/kWh
Uppgradering till biometan (min 97 % metan)	0,15 kr/kWh
Kompression, distribution med växelflak	0,10 kr/kWh
Drift Tankställe	0,15 kr/kWh
<hr/>	
Summa kostnader:	0,90
<hr/>	
Fordonsgas Biogas 100% exkl. moms (EON okt 2013)	1,10 kr/kWh
<hr/>	
Marginal	0,20 kr/kWh (18 %)

Det finns som synes i dagsläget inga stora marginaler att dela på i denna bransch något som givetvis snabbt kan förändras om oljepriserna stiger och därmed ge utrymme för prisökning på fordonsgasen.

Produktion av uppgraderad biogas till biometan eller fordonsgas till min 97 % metan, har varit det lönsamaste alternativet men har hittills krävt storskalig produktion på över 300 Nm<sup>3</sup> biogas/tim för att kunna bära kostnaderna för investering i uppgraderingstekniken. Men nu kommer ny teknik som pressar ned kostnaderna för småskalig uppgradering runt ca 100 Nm<sup>3</sup> biogas/tim varför större gårdsanläggningar även kommer att kunna leverera fordonsgas. Ett problem kan dock vara att få leverera via distributörerna som normalt driver tankställena.

I dagsläget investeras främst i anläggningar där flera lantbrukare inom en radie på ca 20-30 km går ihop och bygger en gemensam biogasanläggning för samrötning av sin gödsel och lokalt organiskt avfall. Därigenom får man en tillräcklig volym för att kunna få en lönsam produktion av biometan för fordonsgas. På vissa platser som t.ex. i Dalsland (Biogas Brålanda) har man byggt ledningar för både gas och gödsel mellan gårdsbiogasanläggningarna för att få stordriftsfördelar för främst uppgraderingen.

Lönsam kraftvärmeproduktion är det enklaste och snabbaste sättet att öka svensk biogasproduktion. Branschen har länge väntat på kommersiella bränsleceller som erbjuder denna möjlighet med sin högre elverkningsgrad och enkla mekaniska konstruktion. Detta innebär också att gårdsbiogasanläggningarna till att börja med inte behöver investera i anläggningar för uppgradering och gå in komplicerade förhandlingar med t.ex. gasbolag om avsättning för biogasen. Om sedan fordonsgasmarknaden utvecklas positivt kan man alltid senare överväga att investera i denna typ av produktion.

## Biogasens föroreningar och dess påverkan på bränslecellen

Biogas består liksom naturgas av metan som största och ekonomiskt viktigaste beståndsdel. Medan naturgasen typiskt innehåller 95- 98% metan, så innehåller biogasen typiskt bara 50- 75% metan. Resten består huvudsakligen av koldioxid CO<sub>2</sub>. Då biogas skall användas som fordonsgas, så uppgraderas metanhalten till minst 97%. Gasen kallas då biometan eller fordonsgas.

Även mängd och sammansättning av föroreningar skiljer sig mellan naturgas och biogas. Generellt, så innehåller biogasen mer föroreningar än naturgasen. Bränslecellssystem är katalytiska system, som lätt förstörs av föroreningar. För att kunna använda biogas i bränsleceller, så krävs därför tekniska reningssteg. Fortfarande behövs mer drifterfarenhet med biogas i bränsleceller för att helt säkerställa hur föroreningarna påverkar cellernas livslängd.

Koldioxiden utgör inget hinder för drift i vare sig förbränningsmotorer eller bränsleceller. Verkningsgraden minskar dock med enstaka procent eftersom även koldioxiden behöver värmas upp i processen. När biogas används i lokala CHP eller µCHP anläggningar i direkt anslutning till en biogaskälla, så sker därför ingen uppgradering till biometan eller fordonsgas vare sig om förbränningsmotorer eller bränsleceller används i systemen. Om gasen däremot skall användas som kommersiell fordonsgas eller för injicering i naturgasnätet som biometan, så krävs en uppgradering för att bränslet skall bli enhetligt. Stationära förbränningsmotorer för rå biogas körs oftast på mager luftblandning för att minska utsläppen. Metangashalten bestämmer maximal uteffekt, så att t.ex. 60% metan i biogasen ger begränsar uteffekten till 60% av motorns märkeffekt.

Ett bränslecellssystem för biogas består av:

- Ett eller flera reningssteg av den råa biogasen
- En reformer, som omvandlar ingående metangas till vätgas och koldioxid
- Bränslecellssystemet

Därutöver behövs styrelektronik, hölje och sensorer med mera.

Olika bränslecellstekniker är olika tåliga mot föroreningar. Generellt, så ökar föroreningståligheten med bränslecellernas drifttemperatur. Tabellen nedan visar vad som gäller.

	LT-PEMFC	HT-PEMFC	SOFC	PAFC	MCFC
Drifttemperatur °C	60-90	120-180	600-850	200-220	650-800
Kolmonoxid CO ppm	<150	<10.000	bränsle	<500	bränsle
Metangas CH <sub>4</sub>	inert	inert	bränsle	inert	bränsle
Svavelväte H <sub>2</sub> S ppm	<0,2 ppm	<10 ppm	<1 ppm	<50 ppm	<0,5 ppm
Siloxaner	gift	gift	<5 ppm	gift	<5 ppm
Ammoniak NH <sub>3</sub>	<10 ppm	gift	bränsle	gift	bränsle

Vi ser från tabellen att kolmonoxid, metangas och ammoniak fungerar som bränsle i högttemperaturbränslecellerna SOFC och MCFC, medan de fungerar som katalysatorgift i de tre nämnda lågttemperaturteknikerna.

Det råder inte full konsensus kring om PEMFC cellerna tål CO<sub>2</sub>, det vill säga icke upparbetad biogas. CO<sub>2</sub> i sig självt utgör inget gift för cellerna, men om, även en liten mängd, CO<sub>2</sub> reduceras till CO i processen, så utgör det senare ett starkt gift för främst LTPEMFC. Många etablerade tillverkare av LTPEMFC accepterar inte s.k. reformat med avsevärt CO<sub>2</sub>-innehåll som bränsle för sina bränsleceller eller stackar.

Siloxaner är en välfärdsförorening, som främst kommer från kosmetika. Halterna kan därför vara höga i biogas från deponier, men är låga i biogas från gödsel och grödor. Siloxanerna är förödande för förbränningsmotorer och har en ogynnsam inverkan på livslängden för katalysatorer i reformer och bränsleceller.

Att säkerställa att ett reningssystem inte skadar en viss bränslecell med ett visst bränsle är en dyr och omständlig process, eftersom det krävs långtidsprov, och ännu behövs mer driftserfarenheter med biogas för bränsleceller. De slutgiltiga tekniska lösningarna för gasreningen brukar dock bli enkel. Oftast räcker det med väldimensionerade filter.

### Befintliga reningssystem för biogas som lämpar sig för bränsleceller

För att biogas skall kunna användas som bränsle i bränsleceller måste vissa föroreningar avlägsnas. Hur omfattande och kostsamma reningssystem som måste tillgripas beror på vilken typ av reformer och bränslecell som skall användas.

Typisk gassammansättningen vid gårdsbaserad bioasproduktion:

Gas	Andel
Metan (CH <sub>4</sub> )	50-75 %
Koldioxid (CO <sub>2</sub> )	50-25 %
Kväve (N <sub>2</sub> )	0-5 %
Syre (O <sub>2</sub> )	< 1 %
Kolväten	< 1 %
Väte (H <sub>2</sub> )	spår
Ammoniak (NH <sub>4</sub> )	0-0,05 % (0-500 ppm)
Kolmonoxid (CO)	spår
Svavelväte (H <sub>2</sub> S)	0,05-0,5 % (500-5000 ppm)
Vattenånga (H <sub>2</sub> O)	1-2 %
Siloxaner	Spår, främst i biogas från reningssystem & deponigas

För de idag mest prisvärda och kommersiellt tillgängliga lågtemperatur bränslecellerna LTPEM, krävs en mycket ren vätgas på ca 99,98 %. Dessa bränsleceller är mycket känsliga för främst kolmonoxid (CO max 150 ppm), svavelväte (H<sub>2</sub>S max 0,2 ppm) samt ammoniak (NH<sub>3</sub> max 10 ppm).

Högtemperatur bränsleceller som SOFC kräver främst mycket låga halter av svavelväte (H<sub>2</sub>S max 1,0 ppm)

Generellt kräver bränsleceller en mycket hög rening av biogasen speciellt av svavelväte.

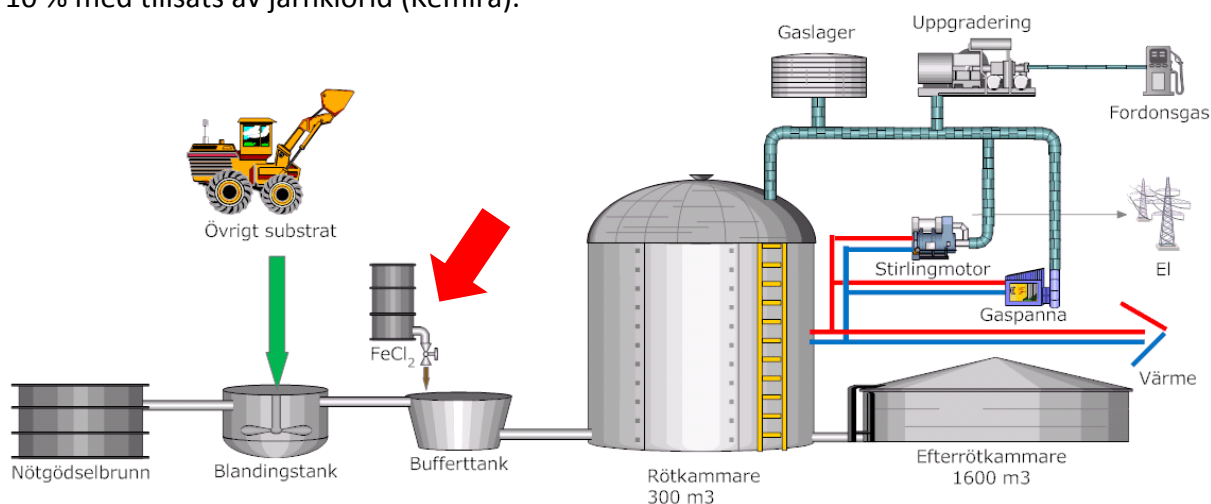
Om konventionell reformerteknik används kan förutom borttagning av svavel, svavelväte, siloxaner mm även CO<sub>2</sub> kan behöva avlägsnas.

De på marknaden befintliga reningssystemen för biogas är i första hand inriktade på att ta bort koldioxiden (CO<sub>2</sub>) och reducera Svavelvätet (H<sub>2</sub>S).

De vanligaste metoderna för att ta bort svavelväte från biogasen är:

### Järnklorid

Tillsats av järnklorid (FeCl<sub>2</sub>) i röt-kammaren där denna reagerar och fäller ut svavlet som järnsulfid (FeS) som sedan följer med rötresten ut ur röt-kammaren. Metoden är vanlig på stora industriella biogasanläggningar. Järnkloriden är en mycket korrosiv kemikalie som ställer säkerhetskrav i hanteringen. Doseringen skall ske vid inmatning på ett sätt så att järnkloriden snabbt blandas upp med substratet för att undvika korrosionsskador på utrustningen. Vanligen doseras i buffert/blandartank innan, i pumpledningen till eller direkt i röt-kammaren. En vanlig dosering är 0,5 liter/m<sup>3</sup> inmatat substrat (Kemira). Doseringen justeras tills man når önskad rening. Nivåer under 100 ppm nås i praktiken utan problem. Investeringen i utrustning är relativt låg och för vanliga gårdsbiogasanläggningar kan järnkloriden köpas i s.k. returnerbara IBC-containers på 800 liter till ett pris på ca 6,75 kr/liter (4,75 kr/kg) (Brenntag) en doserpumpsutrustning kostar ca 3000 kr (Prominent). Detta ger vid rötning av nötgödsel en kostnad på ca 15 öre/Nm<sup>3</sup> biogas. En fördel med järnklorid är att den reducerar svavelvätet i substratet och rötmassan vilket minskar dess skadliga inverkan på metanbildningen. Enligt uppgift kan biogasproduktionen öka upp emot 10 % med tillsats av järnklorid (Kemira).



Exempel på inblandning av järnklorid i substratet för att minska bildningen av svavelväte vi biogasproduktion på Plönninge Naturbruksgymnasium (Karlsson m.fl. 2011)

### Tillförsel av luft eller syre

Det enklaste och vanligaste sättet att reducera svavelväte på gårdsbiogasanläggningar är att injicera en liten mängd luft (3-5 % av den producerade biogasmängden per tidsenhet) i den övre delen av röt-kammaren. Med hjälp av luftens syre kan svavelbakterier då fälla ut svavlet. Det är viktigt att svavelbakterierna har tillräckligt stora ytor att fästa på tumregeln är minst 1m<sup>2</sup> yta per 20 Nm<sup>3</sup> biogas/dygn. Denna yta kan bestå av ett svämtäcke eller en inre struktur som t.ex. ett uppspant nät under taket i röt-kammaren. En industriell luftkompressor med en med reglerventil och flödesindikator är allt som behövs. Det är viktigt att luften inte överdoseras så ett syreöverskott ger explosionsrisk. Rätt skött och dimensionerat kan detta enkla system ta ned svavelväte halten till ca 100 ppm. Notera att lufttillskottet även ger en



höjning av biogasens kvävehalt. Utrustningen är enkel och billig, ca 3000 kr för en bra luftpump (t.ex. Nitto) och ca 3000 kr för en kombinerad reglerventil och flödesmätare (t.ex. svävkroppsmätare). Driftskostnaden är ca 1000 kr/år för el och underhåll.



*Exempel på lufttillförsel till röt-kammarens övre del med en liten kompressor (Nitto). Luftflödet måste regleras med en flödesgivare som t.ex. med denna svävkroppsmätare med reglerventil.*

### **Kemisk absorption - Metalloxid**

Kemisk absorption i en metalloxidbädd (oftast järnoxider eller rost) där svavelväte reagerar med järnoxiden till svavelföreningar och svavel. Dessa filter kan göras mycket enkla där biogasen får passera finfördelat järnskrot (Dry box) till mer avancerad med specielltillverkade järnoxidpellets. Filter med järnoxidpellets behöver en viss mängd vatten för att fungera optimalt. Den fuktmängd som finns i den råa biogasen räcker normalt till för detta. Dessa filter måste då dräneras regelbundet från vatten som bildas. Dessa filter är lätta kan regenerera för återanvändning genom att blåsa luft igenom dem men detta måste ske försiktigt då denna process är exoterm under stor värmeutveckling. För underhåll och regenerering rekommenderas att ha två filter där ett kan kopplas bort. Efter varje regenerering tappar filtret något av sin kapacitet och det brukar rekommenderas att byta ut pelletsen efter ca 4 cykler (House 1978).



*Reningsystem för biogas med järnoxidpellets från kinesiska Camda inkl. partikelreningscyklon och blåsmaskin för tryckstegring (<http://cncamda.en.alibaba.com/> )*



Många järnoxidpellets har specialanpassats med tillsats av ämnen som förbättrar effektiviteten och ekonomin. Ett exempel som används på många gårdsbiogasanläggningar i Tyskland är UgnCleanPellets en med järnhydroxid impregnerad pellets tillverkad av spillfibrer från pappersmassaindustrin

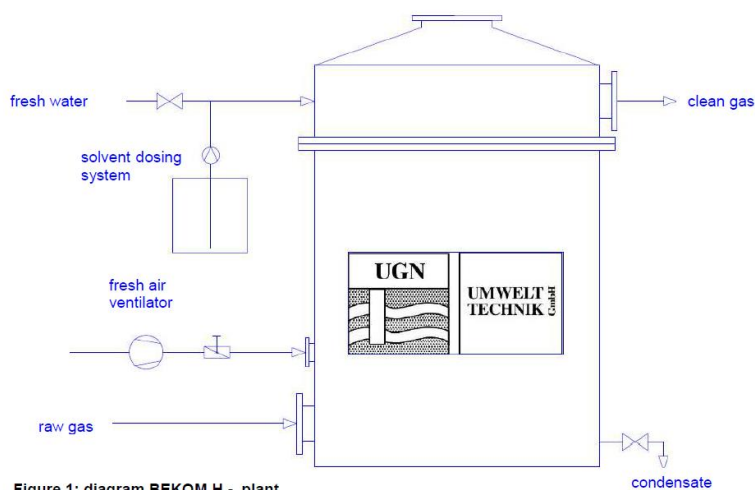


Figure 1: diagram BEKOM H - plant



*Biogasfilter med fiberpellets behandlade med järnoxid från tyska UGN.*  
([www.ugn-umwelttechnik.de](http://www.ugn-umwelttechnik.de))

Bra filter med järnoxidpellets kan reducera Svavelväte ned till ca 10 ppm. Torra järnskrotsfilter kan göra mycket billiga medan järnoxidfilter med pellets kostar ca 40-200 00 kr. Driftskostnaden ligger runt 1- 5 öre/Nm<sup>3</sup>

### Adsorption på aktivt kol

Denna teknik bygger på adsorption på ytan i aktivt kol, där svavelväte binder till det aktiva kolet och med hjälp av syre och vatten på ytan oxiderar svavelväte till elementärt svavel och vatten. Kolet verkar som en katalysator. Processen kräver en syrehalt som är 5 x större än H<sub>2</sub>S baserat på molvikt (vid 1000 ppm ca 0,5 % syre eller 2-3 % luft) samt att biogasen har en fukthalt på ca 30-90 %. Man bör dock undvika kondensering som gör filtret blött, optimalt är en luftfuktighet mellan 40-70 % och en gastemperatur över +25 C. Om man tillsätter tillräckligt med luft i rötchammaren för biologisk rening kan ett överskott av syre från denna process räcka även för kolfiltret. På så sätt sparar man in en extra luftdosering. Oxidationsprocessen i filtret är exoterm och alstrar energi och vid H<sub>2</sub>S halter över 1000 ppm kan det finnas en risk för självantändning (Broberg, 2013). Det aktiva kolet förbrukas i proportion till mängden svavelväte och måste därför bytas regelbundet. Många filtersubstrat av aktivt kol har impregnerats med ämnen som gör filtren mer effektiva. Aktiva kolfilter lämpar sig på gårdsbiogasanläggningar som ett sista "finfilter" som tar ned svavelväte halten från ca 100 ppm ned till under 1 ppm. Priserna på dessa filter för gasflöden 30-100 Nm<sup>3</sup>/h varierar mellan 15 000 -200 000 kr och det aktiva kolet kostar ca 25-30 kr/kg vilket ger en kostnad på ca 10-20 öre Nm<sup>3</sup>/biogas.



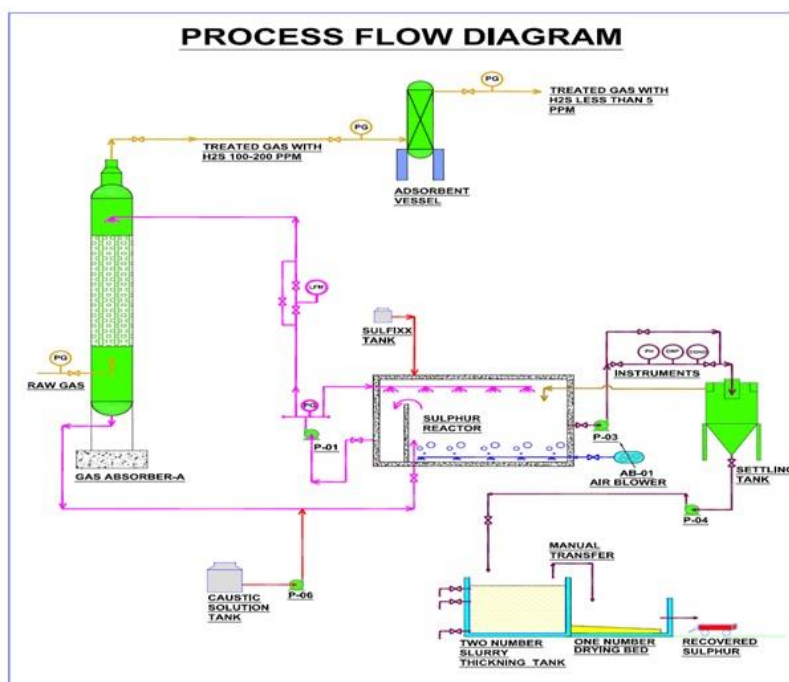
Gasfilter med specialanpassat aktivt kol från tyska Silcarbon ([www.silcarbon.eu](http://www.silcarbon.eu))

### Fysikalisk absorption

Fysikalisk absorption där svavelväte löser sig i en vätska kan exempelvis ske genom trycksättning i en vattenskrubber. Vid +20 C och atmosfärstryck löser sig svavelväte 2,6 volymenheter gas i en volymenhet vatten. Denna rening är då i princip densamma som görs för borttagning av CO<sub>2</sub> vid uppgradering till fordonsgas. Man önskar ändå få ned H<sub>2</sub>S halten till under 100 ppm innan uppgradering i vattenskrubbar för att inte få korrosionsskador på utrustningen (Malmbergs Water). Denna metod kan göra enkel men är inte så effektiv för endast svavelrening av biogas och följaktligen ovanlig.

### Kemisk absorption

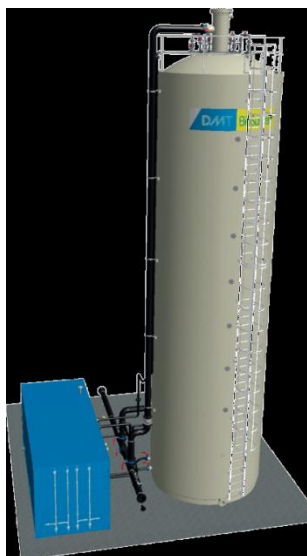
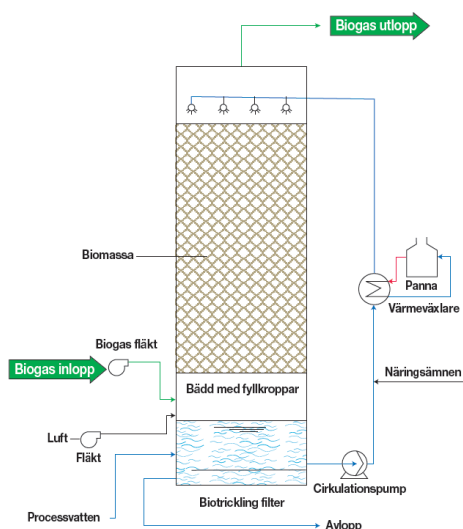
Kemisk absorption med exempelvis natriumhydroxid (lut) är en väl beprövad och effektiv reningsmetod för stora industriella biogasanläggningar. Biogasen leds in i botten av en kolonn och möter en ström av natriumhydroxid (NaOH, lut). Därvid bildar svavelväte natriumhydrosulfid (NaHS). Även CO<sub>2</sub> reagerar med natriumhydroxiden och bildar Natriumbikarbonat (NaCO<sub>3</sub>) men processen brukar optimeras för att gynna svavel och hålla tillbaka CO<sub>2</sub> reningen. Den använda NaOH lösningen kan regenereras igenom att lufta lösningen i en bioreaktor varvid bakterier omvandlar sulfiden till NaOH och rent svavel. Dessa kemiska skrubbar kräver en hel del teknik som är densamma oavsett storlek och är därför endast ekonomiska för större anläggningar med flöden över 100 Nm<sup>3</sup> biogas/h.



Kemisk skrubber med NaOH (lut) för svavelrening av biogas med biologisk regenerering från indiska Innovative Environmental Technology ([www.ietl.in](http://www.ietl.in))

## Biologiska filter

En annan beprövad metod är biologiska filter med fyllkroppar, träflis eller pellets där mikroorganismer kan fästa sig och fälla ut svavlet. Det är samma princip som vid luft/syre tillförsel i röt-kammaren men här sker den externt. Den orenade biogasen leds genom fliterbädden som normalt hålls fuktig med en vattendusch där också en mindre mängd syre eller luft blåses in (0,5 % syre eller 3-5 % luft). Luftmängden skall anpassas så att större mängden förbrukas av svavelbakterierna. Biologiska filter kan göra ganska enkla och kosta ca 50 000 kr för ca 25 Nm<sup>3</sup> biogas/h och kan reducera svavelväte ned till ca 50 ppm. Driftskostaden är låg främst el för luft och vattenpumpning.



Exempel på ett biologiskt filter för svavelrening av biogas från holländska DMT ([www.dmt-et.nl](http://www.dmt-et.nl))

När man vid rötning får höga halter av svavelväte (H<sub>2</sub>S) över 500 ppm och efter rening vill komma ned under 1 ppm rekommenderas rening i två steg, först med någon form grövre rening med luft/syre tillförsel, biologiska filter eller skrubbers till ca 50 ppm för att sedan reduceras ned till ca 1 ppm med hjälp av ett sekundärt filter t.ex. ett aktivt kolfilter. Annars är risken att man får för höga kostnader med täta filterbyten. Med de etablerade teknikerna kan svavelväte reduceras nästan helt vilket är ett krav speciellt LT-PEMFC och SOFC bränslecellerna som kräver mycket låga halter av svavelväte under 1 ppm.

Dessa metoder för rening av svavelväte renar även i varierande grad andra föroreningar som partiklar, ammoniak och siloxaner. Men eftersom övriga föroreningar är relativt små i gödselbaserade gårdsbiogasanläggningar bedömer vi att det räcker att installera ett bra reningssystem för svavelväte för att säkerställa gaskvaliteten för dagens bränsleceller.

De inom gårdsbiogasanläggningar vanligaste teknikerna är injicering av luft i röt-kammaren samt biologiska filter. Om man avser att producera biometan bör man inte injicera luft eftersom man då riskerar att få för hög kvävehalt som kan göra det svårt att nå en metanhalt på minst 97 %.

**Exempel på svavelreducering på svenska gårdsbiogasanläggningar (Broberg, HS 2013)**

Gård nr	Teknik	Reducering svavelväte (H <sub>2</sub> S)*		
		Före ppm	Efter ppm	Kostnad öre/Nm <sup>3</sup> biogas
1	Järnoxid+Syrgas flaska	1600	50	13,5
2	Järnoxid+Syrgas flaska		50	13,5
3	Syrgasgenerator+Ozon	1500	400	17,1
4	Järnklorid+Luft+Filter aktivt kol		80	7,9
5	Luft	2000	2000	0
6	Luft	2000	50	0
7	Luft	2000	2000	0
8	Järnklorid+Luft	2000	300	0,5
9	Luft		50	0
10	Järnklorid+Luft		50	32,9
11	Luft+Filter aktivt kol+Järnskrot+vattenskrubber	2000	70	0
12	Järnklorid+Luft	2000	400	12,7
13	Luft		223	0
14	Luft		87	0
15	Luft+Filter aktivt kol		60	0
16	Järnoxid			10,2
17	Järnklorid+Luft		50	0,4
18	Järnklorid			12,1

\* Det använda gasanalysinstrumentet visade max 2000 ppm H<sub>2</sub>S varför högre värden ej kunde mätas

**Uppskattade kostnader för svavelreduktion av biogas,**

*Biogas: 50 Nm<sup>3</sup>/h, Orenad svavelvätehalt: 800 ppm (Broberg & Tamm 2013)*

Gasreningsteknik	Inblåsning syrgasgenerator	Inblåsning syrgas på flaska	Järnklorid	Järnoxidpellets	Aktivt kol
Kostnad öre/Nm <sup>3</sup>	3	45	18	1,5-13	23

Enligt Broberg (Broberg, 2013) ser man i gjorda fältstudier hur viktigt det är att löpande justera reningen efter biogasens innehåll. Dessutom rekommenderas att i en kalkyl för gårdsbaserad biogasproduktion lägga in en kostnad för rening av biogasen mellan 0,10-0,20 kr/Nm<sup>3</sup> biogas.

Tillverkare av utrustning för svavelrening (H<sub>2</sub>S) av biogas

Firma	Land	Web	Teknik	Renar	Modell	Kapacitet	Pris (Ex Works)	Kommentar
DMT	NE	<a href="http://www.dmt.nl">www.dmt.nl</a>	Kemisk skrubber – NaOH (lut)	H <sub>2</sub> S	Sulfurex			
DMT	NE	<a href="http://www.dmt.nl">www.dmt.nl</a>	Biologisk skrubber	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	Biosulfurex			
Westec LLC	USA	<a href="http://www.energycubellc.com">www.energycubellc.com</a>	Biologisk skrubber	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	Bio Scrub by Energy Cube			
Ammongas	DK	<a href="http://www.ammongas.dk">www.ammongas.dk</a>	Kemisk skrubber	H <sub>2</sub> S				
Ammongas	DK	<a href="http://www.ammongas.dk">www.ammongas.dk</a>	Aktivt kol	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>				
BioBG	DE	<a href="http://www.biobg.sde">www.biobg.sde</a>	Aktivt kol	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	2-kammar filter 3-kammar filter	50 Nm <sup>3</sup> /h 1000→5 ppm 1000→0 ppm	2-kammar filter 83 000 kr 3-kammar filter Ca 170 000 kr 9 öre/Nm <sup>3</sup> Kol 26 kr/kg	2-kammar filter i rostfritt m fläkt.
Biogasclean	DK	<a href="http://www.biogasclean.com">www.biogasclean.com</a>	Biologiskt filter	H <sub>2</sub> S	Container-system			
Camda	CH	<a href="http://cncamda.en.alibaba.com">http://cncamda.en.alibaba.com</a>	Järnoxid pellets	H <sub>2</sub> S	KDCL-100-WQ	100-120 Nm <sup>3</sup> /h → <200 ppm	40-270 000 SEK	2x300 kg järnoxidpellets, inkl 1,5 kW blåsmaskin
Colsen	NL	<a href="http://www.colsen.nl">www.colsen.nl</a>	Biologiskt skrubber	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	Bidox	25-3000 Nm <sup>3</sup> /h, 10000→50 ppm	57 000 SEK	
Energy & Waste Technologies	ESP	<a href="http://www.ewtech-ing.com">http://www.ewtech-ing.com</a>	Kemisk skrubber	H <sub>2</sub> S	Biolimp-MP	→ 50 ppm		
Hydrocat Industries	USA	<a href="http://hydrocatindustries.com">http://hydrocatindustries.com</a>	Järnoxid pellets	H <sub>2</sub> S	HydroCat	→ 1 ppm		
Innovative Environmental Technologies Pvt. Ltd.	IN	<a href="http://www.ietl.in">www.ietl.in</a>	Kemisk skrubber	H <sub>2</sub> S	Bioscrubber	100-200 kg svavel/dag		
US Peroxide	USA	<a href="http://www.h2o2.com">www.h2o2.com</a>	Kemisk skrubber (Väte peroxid)	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S skrubber, PRI-SC			
Green Power	IN	<a href="http://greenpowerintl.com">http://greenpowerintl.com</a>	Kemisk skrubber (Järnoxid)	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S Scrubber	Från 100 Nm <sup>3</sup> /h		
Kavansa AB	SE	<a href="http://www.voccleaning.com">www.voccleaning.com</a>	Biologiska filter & Skubbers	H <sub>2</sub> S				
LSH-Biotech	DK	<a href="http://www.lsh-biotech.dk">www.lsh-biotech.dk</a>	Biologisk skrubber	H <sub>2</sub> S	LSH BIOTECH H <sub>2</sub> S	→ 10 ppm		För dyrt för små system
Merichem	USA	<a href="http://www.merichem.com">www.merichem.com</a>	Kemisk skrubber (Järnoxid)	H <sub>2</sub> S	LO-CAT			Inget för små anläggningar
Organics Ltd	UK	<a href="http://www.organics.com">www.organics.com</a>	Biologisk skrubber	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	ODSG14	100-20000 Nm <sup>3</sup> /h 500-30000→50-300		

						ppm		
Paques	NL	<a href="http://en.paques.nl/">http://en.paques.nl/</a>	Kemisk skrubber (lut)	H <sub>2</sub> S	THIOPAQ	10-50000 Nm <sup>3</sup> /h 10-50 kg S/dag		Bara större system över 25 kg S/d och ca 500 Nm <sup>3</sup> /h
Promis	PL	<a href="http://www.zipromis.com.pl">www.zipromis.com.pl</a>	Skrubbermed järnoxid pellets	H <sub>2</sub> S	Biosulfex		3 kr/kg S 1 öre/Nm <sup>3</sup>	
Silcarbon	DE	<a href="http://www.silcarbon.eu">www.silcarbon.eu</a>	Aktivt kol filter	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	Purosil			
Environ	UK	<a href="http://www.verdesis.co.uk">www.verdesis.co.uk</a>		H <sub>2</sub> S				
TS Umwelt-anlagebau	DE	<a href="http://www.ts-anlagenbau.de">www.ts-anlagenbau.de</a>	Aktivt kol, Biologiska filter	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>		60 Nm <sup>3</sup> /h 1000→50 ppm	378 500 kr	
UGN	DE	<a href="http://www.bio-filter.de">www.bio-filter.de</a>	Järnoxid pellets	H <sub>2</sub> S	UGN Clean Pellets	50-500 Nm <sup>3</sup> /h 1000→5 ppm	70 000-200 000 kr 14 kr/kg 3-5 öre/Nm <sup>3</sup>	
GTS Gastreatment Services B.V.	NL	<a href="http://www.gastreatmentservices.com">www.gastreatmentservices.com</a>	Aktivt kol Kryogen teknik	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub> , Siloxaner	Darco H <sub>2</sub> S – aktivt kol SOXSIA-järnoxid TCR-kryogen			TCR kommer från Pioneer Air System i USA
AdFiS systems GmbH	DE	<a href="http://www.adfis.de">www.adfis.de</a>	Aktivt kol	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	Adsorber AS 500 Dopetc Sulfo 100	30 Nm <sup>3</sup> /h 2000 ppm → 1000 ppm →	21 000 kr 14 öre/Nm <sup>3</sup> 30 kr/kg kol	
Acron	USA	<a href="http://www.acrion.com">www.acrion.com</a>	Kryogen	H <sub>2</sub> S, Siloxaner	CO <sub>2</sub> Wash			Kan kombineras med kryogen uppgradering
Pioneer Air System	USA	<a href="http://www.pioneerair.com">www.pioneerair.com</a>	Kryogen & aktivt kol	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub> , Siloxaner	TCR			Siloxaner kondenseras bort
Colasit Scandinavia	SE	<a href="http://www.colasit.se">www.colasit.se</a>	Kemisk skrubber	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub>	CEF filter	2000 Nm <sup>3</sup> /h 100→0 ppm		Skrubbers endast för större system
Kemira	SE	<a href="http://www.kemira.se">www.kemira.se</a>	Järnklorid	H <sub>2</sub> S	PIX-111 lösning		800 liter 6,75 kr/liter 15 öre/Nm <sup>3</sup>	
Mi SWACO	USA	<a href="http://www.slb.com">www.slb.com</a>	Järnoxidpellets	H <sub>2</sub> S	Sulfa Treat			
Ytteknik QP <sup>3</sup> AB	SE	<a href="http://www.ytteknik.com">www.ytteknik.com</a>	Järnklorid	H <sub>2</sub> S			12x86 kg 6:80kr/kg	
Selecta Bioenergie	DE	<a href="http://www.selectagmbh.de">www.selectagmbh.de</a>	Aktivt kol	H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub> , Siloxaner	H <sub>2</sub> S-X	30-125 Nm <sup>3</sup> /h 25-100 kg kol	13000-28000 kr 27 kr/kg kol	
Zueblin Umwelttechnik	DE	<a href="http://www.zueblin-umwelttechnik.de">www.zueblin-umwelttechnik.de</a>	Aktivt kol		CarbonEx	>100 Nm <sup>3</sup> /h		
Götene Gårdsgas	SE	<a href="http://www.gardsgas.se">www.gardsgas.se</a>	Järnoxidpellets	H <sub>2</sub> S		1000 →100 ppm 80 Nm <sup>3</sup> /h	120 000 kr 23 kr/kg 3 öre/Nm <sup>3</sup>	Inkl. 8" container med gasfläkt 300mbar

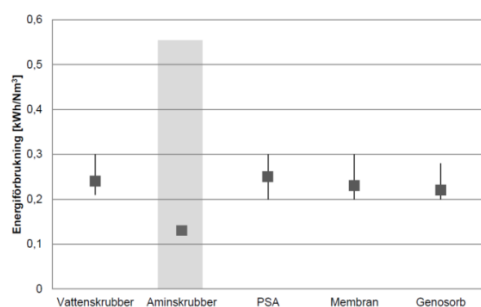
## Rening av koldioxid

Koldioxiden önskar man i första hand ta bort för att öka biogasens energivärde främst vid injicering i naturgasnätet samt vid användning som fordonsgas. För detta måste enligt svensk standard metanhalten vara över 97 % och denna uppgraderade biogas kallas då för biometan.

Enligt en ny rapport från SGC (Bauer m.fl. SGC Rapport 2013:270) är de större existerande teknologierna för uppgradering av biogas:

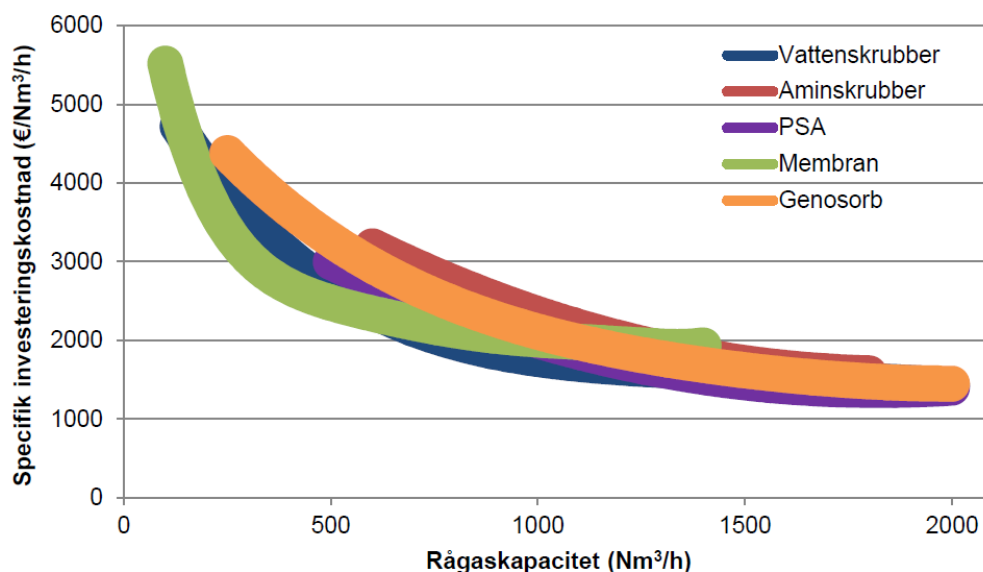
- Aminskrubbern - en kemisk skrubber som använder sig av aminer som bin-der in koldioxiden kemiskt. På detta sätt avlägsnas koldioxiden utan att bio-gasen behöver trycksättas. För att få koldioxiden att släppa från aminen igen måste värme tillföras för att driva reaktionen baklänges.
- PSA – Pressure Swing Adsorption är en metod som använder sig av en adsorbent som binder in koldioxid till dess yta. Vid ett högt tryck på bioga-sen binds koldioxiden in och genom att växla mellan högt och lågt tryck kan koldioxiden bindas in och avlägsnas i olika cykler.
- Membran - en fysisk barriär som är tillverkad på ett sådant sätt att koldioxi-den kan passera igenom medan metanen inte kan. Genom att trycksätta biogasen kommer koldioxiden att pressas igenom membranfiltret medan metanen kommer att stanna kvar och på så vis uppgraderas biogasen.
- Vattenskrubbern - en fysisk skrubber som använder vatten för att separera koldioxiden från biogasen. Detta är möjligt eftersom koldioxid har mycket högre löslighet än metan i vatten. Genom att trycksätta biogasen kommer koldioxiden att lösa sig i vattnet och kunna transporteras bort.
- Organisk fysisk skrubber – (Genosorb) en fysisk skrubber som fungerar som en vattenskrubber, men med den skillnaden att ett organiskt lösningsmedel används istället för vatten. I övrigt är dessa tekniker jämförbara.
- Kryogen separering-Biogasen kyls ned tills koldioxiden separerar eller sublimerar. Även andra ämnen som t.ex. siloxaner kondenseras vid kylning varför rening sker även för dem.

Aminskrubbern anses vara den effektivaste där den kan ta bort upp till 99,8 % av koldioxiden. De övriga teknikerna klarar att producera upp till 98 % metan beroende på biogasens kvalitet. Energiförbrukningen är också likartad för alla tekniker med undantag för aminskrubbern som kräver mindre energi för själva uppgraderingen men mer för regenereringen med värme.



Som figuren ovan visar är elförbrukningen mellan 0.20 och 0.30 kWh/Nm<sup>3</sup> rå bio-gas för samtliga tekniker förutom för aminskrubbern. För aminskrubbern ligger el-förbrukningen istället runt 0,13 kWh/Nm<sup>3</sup> men därtill kommer ett värmebehov på ca 0,55 kWh/Nm<sup>3</sup> (Bauer m.fl. SGC Rapport 2013:270)

Investeringskostnaderna för uppgraderingsteknikerna går kraftigt ned över 300 Nm<sup>3</sup> biogas/h och planar ut vid ca 1000 Nm<sup>3</sup>/h. Skillnaderna är relativt små men tendensen är att de nya membransystemen blir allt billigare för småskaliga system runt 100 Nm<sup>3</sup> biogas/h.



*Investeringskostnader för olika uppgraderingstekniker för biogas vid olika kapaciteter (Bauer m.fl. SGC Rapport 2013:270)*

*Behovet av rening av ingående biogas till olika uppgraderingssystem för biogas:*

Teknik	Princip	Egenskap	Behov av rening före
PSA (Pressure Swing Absorption)	Adsorption, vanligen med aktivt kol		Ja, vatten & svavelväte
Membran	Permeation, vanligen genom genom ihåliga fibrer även zeoliter	Selektiv genomtränglighet	Ja, svavelväte
Vattenskrubber	Absorption	Vattenlöslighet	Nej
Kemisk skrubber	Kemisk reaktion	Kemisk struktur	Ja, svavelväte
Organisk fysisk skrubber	Absorption	Löslighet i ett lösningsmedel	Nej
Kryogenisk uppgradering	Kokpunkt/ Sublimationspunkt	Kokpunkt/ Sublimationspunkt	Ja

*(Ahrenius & Johansson, SGC 2012)*



## Teknisk livslängd

Bränsleceller mår bäst av att arbeta med konstanta driftsförhållanden, gärna 60-80% av märkeffekten. Detta gäller alla bränslecellstyperna, men problemen är allra störst för högtemperaturbränslecellerna.

Före 2008, då bränslecellstekniken inte bara var ekonomiskt, utan även tekniskt omogen, så skapade detta ibland förvirring. PEMFC som hade testats i 20.000 timmar i extrapolerade labbtester under konstanta driftsförhållanden, höll ofta bara 1.000 timmar under de dynamiska lastförhållanden i en prototyp till bränslecellsbil.

Känsligheten för dynamiska driftsförhållanden gör att livslängderna för bränsleceller varierar med applikationen. CHP är en förhållandevis gynnsam applikation, där det går att hålla belastningen ganska stabil.

SOFC är känsliga för start och stopp. Som komplement till livslängdsuppgifter i driftstimmar anges därför ofta även antalet start och stopp som systemen klarar. Då biogasproduktion är en kontinuerlig och stabil process skall den normalt inte orsaka några oplanerade starter och stopp.

Livslängden för en bränslecell som drivs med biogas påverkas starkt av om reningen från föroreningar är tillfredställande.

Då bränsleceller främst utvecklades av forskningsorganisationerna, så drevs inte livslängdsfrågorna speciellt starkt. Det har traditionellt varit industrins uppgift att svara för den utvecklingen. För PEMFC och SOFC är det först på de allra senaste åren, som vi har börjat se tillfredsställande livslängdsiffror. För PAFC och MCFC har livslängderna länge varit "nästan bra", men den sista utvecklingen mot "helt bra" saknas fortfarande.

Nedanstående tabell visar "bland de bästa i klassen". Den genomsnittliga nivån på marknaden är därmed sämre. En tabell som denna blir snabbt inaktuell. Den är skriven 10/2013.

Teknik	Förväntad livslängd i timmar vid CHP drift	Garanterad livslängd vid CHP drift	Tillverkare
PEMFC	80.000 60.000	10 år 12 år	Toshiba Ballard
SOFC	80.000	10 år med servicekontrakt	Ceramics
PAFC	60.000		Fuji Electric
MCFC	40.000		Fuel Cell Energy

De långa livslängderna för PEMFC och SOFC är en mycket färsk verklighet. För ett par år sedan betraktades 20.000 timmar som ett drömvärde. Nu finns dock erfarenhetsbaserade livslängdsdata med lovande värden. Vissa tillverkare föreskriver ett visst förbyggande underhåll och s.k. "Refurbishment plan" för att göra dessa livslängder möjliga. För att uppnå samma värden med förbränningsmotorer, så krävs motorer byggda med s.k. industri kvalitet med högre prislapp än vad marknaden är mogen för.

## Industriella affärsmöjligheter för Sverige

Som framgått av rapporten, så finns det en brist på världsmarknaden av leverantörer av biogasbaserade bränslecellssystem, och i synnerhet av system i för lantbruket lämpliga effektområden.

Sverige har flera industriföretag som är tekniskt lämpade för denna nisch och intresserade om de ekonomiska villkoren är rimliga, vilket de inte är idag.

**För bränsleceller och reformers** finns främst företagen:

- **Metacon** Metacon fokuserar på biogasbaserade PEMFC system för CHP samt på reformersystem för framtida vätgastankstationer där biometan eller fordonsgas konverteras till vätgas. Den senare nischen är speciellt intressant under den långa övergångsperiod då det finns mycket få bränslecellsbilar, men kan även vara långsiktigt spännande. För Metacons del är det mycket renodlat att det är de ekonomiska spelreglerna, som avgör om satsningarna kommer att lyckas.
- **Powercell** Powercells ursprungliga fokusering är reformerbaserade PEMFC system drivna med diesel för elgenerering i lastbilar och båtar. Företaget har på senare år sökt även andra applikationer för sitt system baserat på kärnkompetenserna, reformers, bränslecellsstackar lämpade för reformerat (vätgas framställd i reformer) och styrsystem. Företaget säljer idag bränsleceller till system integratörer som för vätgas- eller reformersystem. PowerCells PEM bränsleceller m är speciellt tåliga för reformat vätgas med bland annat extra hög tålighet för CO. Företaget förfogar över en avancerad testanläggning för bränsleceller där bl.a. tåligheten för olika för olika föroreningar kan testas.
- **SAAN Energy** SAAN fokuserar på SOFC system samt komponenter till sådana system. SAAN hävdar att deras system är extra robusta, vilket är en fördel om de skall användas för biogas.
- **Catator** Catators kärnkompetens är katalytiska processer. Katalytiska processer kommer till nytta i såväl reformers som vid rening av gasen.

Kompleta system och komponenter för biogasproduktion utvecklas och tillverkas av en mängd olika svenska företag. Nedan visas exempel:

AGA Gas AB	<a href="http://www.aga.se">www.aga.se</a>
Agimix Sweden AB	<a href="http://www.agimix.se">www.agimix.se</a>
Biofrigas Sweden AB	<a href="http://www.biofrigas.se">www.biofrigas.se</a>
Biogas Systems AB	<a href="http://www.biogassystems.se">www.biogassystems.se</a>
BioMil AB	<a href="http://www.biomil.se">www.biomil.se</a>
Bioprocess Control AB	<a href="http://www.bioprocesscontrol.com">www.bioprocesscontrol.com</a>
Biosling AB	<a href="http://www.biosling.se">www.biosling.se</a>
BRC Sweden AB	<a href="http://www.brcgas.se">www.brcgas.se</a>
Browik Installation i Tranås AB	<a href="http://www.browik.se">www.browik.se</a>
Cleanenergy AB	<a href="http://www.cleanergy.com">www.cleanergy.com</a>

CRYO AB	<a href="http://www.cryo.se">www.cryo.se</a>
E-on Gas AB	<a href="http://www.eon.se">www.eon.se</a>
Flygt Pumpar AB (Xylem)	<a href="http://www.ittwww.com">www.ittwww.com</a>
FordonsGas Sverige AB	<a href="http://www.fordonsgas.se">www.fordonsgas.se</a>
GEP Group	<a href="http://www.gepgroup.se">www.gepgroup.se</a>
Greenlane AB	<a href="http://www.greenlanebiogas.com">www.greenlanebiogas.com</a>
Göteborgs Energi AB	<a href="http://www.goteborgsenergi.se">www.goteborgsenergi.se</a>
Götene Gårdgas AB	<a href="http://www.gotenegardsgas.se">www.gotenegardsgas.se</a>
Indutec Veddige AB	<a href="http://www.indutecab.se">www.indutecab.se</a>
Malmberg Water AB	<a href="http://www.malmberg.se">www.malmberg.se</a>
MGE-Teknik AB	<a href="http://www.mge-teknik.com">www.mge-teknik.com</a>
MMG Konsult AB	<a href="http://www.mmgkonsult.se">www.mmgkonsult.se</a>
MPG Miljöteknik AB	<a href="http://www.mpg.se">www.mpg.se</a>
NeoZeo AB	<a href="http://www.neo-zeo.com">www.neo-zeo.com</a>
Nordic Gas Solutions AB	<a href="http://www.nordicgas.se">www.nordicgas.se</a>
Norup Biorefinery AB	<a href="http://www.norup.se">www.norup.se</a>
Purac Läckeby Water Group	<a href="http://www.purac.se">www.purac.se</a>
Scandinavian Biogas Fuel AB	<a href="http://www.scandinavianbiogas.com">www.scandinavianbiogas.com</a>
Stamo Maskin AB	<a href="http://www.stamo.se">www.stamo.se</a>
Sulzer Pump Solutions Sweden AB (ABS)	<a href="http://www.absgroup.com">www.absgroup.com</a>
Swedish Biogas International AB	<a href="http://www.swedishbiogas.com">www.swedishbiogas.com</a>

Sverige har mycket goda möjligheter att bli en världsledande industrination för energisystem med bränsleceller för CHP för biogas. Tekniker för produktion av biogas är väl utvecklad, i synnerhet för större anläggningar, och ett stort antal biogasprojekt är under projektering. Utvecklingen för CHP från biogas hämmas i Sverige kraftigt av frånvaron av subventioner på en nivå jämförbar med ledande nationer inom området. I många EU- länder betalas el från biogas med en fast inmatningstariff på 1,50 – 4,50 kr/kWh, medan en småskalig leverantör i Sverige i bästa fall idag (oktober 2013) kan påräkna 0,60 kr/kWh. Svenska lantbrukare kan idag få ett stöd på upp till 30 % av investeringskostnaden för en biogasanläggning men detta räcker oftast inte till för att få tillräcklig lönsamhet.

EU har föreslaget ett bindande direktiv att det skall finna tankstationer för biogas vart 30:e mil i hela Europa. Under en lång period, kanske 15 år, när bränslecellsbilar finns, men är begränsade till antalet, så kommer det att behövas kostnadseffektiva små tankstationer för vätgas, som endast skall leverera gas till enstaka bilar. Konvertering från biometan/fordonsgas till vätgas på stationen kan då bli en kostnadseffektiv lösning. Här finns en industriell möjlighet till en stark synergieffekt mellan systemutveckling av biogasreformer med bränslecell för CHP konverteringsutrustning till vätgas från fordonsgas på lokala tankstationer. Detta ger möjlighet till kraftigt ökad lönsamhet för småskaliga biogas/bränslecell/CHP- projekt.

Projekt pågår nu för att studera möjligheten att konvertera jordbrukstraktorer till vätgasdrift. New Holland lanserade t.ex. 2009 en prototyptraktor med en bränslecell på 75 kW effekt. Bedömare sa då att det skulle ta ca 5 år (2014) innan dessa maskiner fanns på marknaden, men en mer realistisk bedömning tror vi är att bränslecellstraktorer kommer under decenniets slutfas. Detta ger starkare incitament till gårdsbaserad biogasproduktion, vätgasreformer och bränsleceller, där en del av vätgasen kan användas till gårdens fordon.



*Den amerikanska traktortillverkaren New Hollands bränslecellsdrivna traktor NH2 som drivs med vätgas och har en elmotoreffekt på 75 kW. (<http://agriculture.newholland.com> )*

Bränsleceller ställer mycket högre krav på rening än vid användning i dagens gasmotorer och uppgradering till fordonsgas. Här finns det behov av att utveckla effektivare filter och reningssystem för småskalig biogasproduktion något som Sverige har goda förutsättningar att bli ledande på då vi bl.a. kan utnyttja vår kompetens inom uppgraderingsteknik.

Intresset från lantbrukare, kommuner och regioner för dylika energisystem är mycket stort, över hela världen. Eftersom konkurrensen ännu är liten, så finns förutsättningar för att etablera en betydande industri i Sverige.

## Indikativ ekonomisk kalkyl

Kalkylen nedan är indikativ. Vid eventuella fortsatta utredningar bör den fördjupas.

### Dagens teknik baserad på konverterade bilmotorer

Hushållssällskapet, affärsområde Biogasaffärer på gården, har en mycket detaljerad excelbaserad ekonomisk kalkylmodell för gårdsbaserad biogas.

Vi har med modellen räknat på ett typfall enligt:

Substrat	Gödsel från 200 mjölkkor med rekrytering (=kalvar och ungdjur)
Nötflytgödsel/år	6.850 ton
Märkeffekt el	38 kW
Biogasenergi/år brutto	873 MWh
varav	
återförd processenergi	27%
förluster	11%
nyttiggjord biogasenergi	62%
Producerad el	253 kWh
Producerad värme	296 kWh
Generatoraggregatets elverkningsgrad	29%
"    termiska verkningsgrad	60 %
Kalkylränta	5 %
Antaget nyttovärde för värmen	0,30 SEK/kWh
Avskrivningstid biogasanläggning	20 år
Avskrivningstid gasmotorgenerator	5 år
Driftkostnad gasmotor	0,15 SEK/kWh

### Investeringskalkyl för ett med klassisk bilmotor ombyggd för gasdrift

Investering	Kostnad
Rötningsanläggning	3 200 000
Uppvärmningsanläggning	-
Markanläggning	200 000
Pumpbrunn	200 000
Kulvert	25 000
El och vatten	100 000
Gasmotorgenerator	650 000
Övrigt	100 000
<b>Summa</b>	<b>4 475 000</b>

Investeringen domineras alltså av biogasanläggningen.

Med 30% investeringsbidrag återstår 3 132 500 SEK.

Med dessa, och en hel del kompletterande, data erhålls en produktionskostnad på 0:76 kr/kWh el. Idag (oktober 2013) betalar en lantbrukare både för köpt och får betalt för såld el 0:60 kr/kWh. I detta typfall är därför anläggningen olönsam. Andra förhållanden, offerter mm. Kan ge andra resultat. Kalkylen förutsätter också att all värme kan utnyttjas, vilket sällan är fallet.

Om lantbrukaren är berättigad till det planerade metanreduceringsstödet på 20 öre/kWh, så krävs ett elpris på 0,30 kr/kWh för ekonomisk break even och anläggningen bör göra en god vinst.

### PEMFC

Som uppskattning av vad ett PEMFC baserat system skulle kunna kosta idag, så utnyttjar vi två tumregler:

- Ballard säljer idag stackar för applikationer med långa drifttider (MK-1300) för 1.300€/kW vid små antal
- Stacken brukar stå för en tredjedel av kostnaden av ett bränslecellssystem utan reformer
- Reformern brukar kosta ungefär lika mycket som bränslecellssystemet

Totalt kan vi därför anta ett systempris på sex gånger stackkostnaden eller 69.000 SEK/kW = 2. 760.000 SEK för ett 40 kW system.

Vi antar en systemlivslängd på 10 år, en servicekostnad på 0,03 kr/kWh och en systemverkningsgrad på 38%.

Vi hamnar då på en elkostnad på 0:89 mot 0:76 med dagens bilmotorteknik. För att komma ner i samma elkostnad, så behöver kostnaden för bränslecellssystemet pressas till knappt 2,3 Mkr.

I bränslecellssammanhang är detta sensationellt nära marknadsmässiga kostnader. Som en jämförelse kan nämnas att Toyota har pressat kostnaden för sina bränslecellssystem för framtida bilar till en tjugondel av den initiala kostnaden.

Med reduceringsstödet så blir en anläggning med metanreduceringsstödet lönsam med en elkostnad på 0:53 kr/kWh, men lantbrukaren tjänar mer på att välja en system byggt kring en konverterad bilmotor.

### SOFC

De prisuppgifter, som rapportförfattarna har sett på SOFC stackar ligger på en helt orimlig nivå, varför samma kalkylförfarande inte kan användas.

Bloom Energy säljer 100 kW SOFC baserade elgeneratorer för naturgas för 52.000 SEK/kW. Systemen är mycket kostnadspressade och medger inte möjlighet att utnyttja värmen. De utnyttjar inte heller hela potentialen till hög verkningsgrad, som SOFC erbjuder. Det är vanskligt att i en snabb indikativ kalkyl bedöma merkostnaden för ett fullvärdigt system. Om vi antar att merkostnaden är 33%, så får vi samma systemkostnad som för PEMFC systemen, dvs. 69.000 SEK/kW. **Det är viktigt att starkt betona att utmaningen med ett SOFC system ändå är avsevärt större.** Tekniken är inte helt mogen och rapportförfattarna känner inte till något ställe på marknaden där SOFC stackar kan köpas till ett rimligt pris.

För SOFC systemet har vi antagit en elverkningsgrad på 55% och samma livslängd och servicekostnad som för PEMFC systemen. Insatt i vår kalkylmodell får vi en elkostnad på 0:65 kr/kWh det vill säga lägre än för alternativet med ombyggd bilmotor!

Räknar vi baklänges, så kan vi tillåta en systemkostnad på 84.000 kr/kW för samma elproduktionskostnad, som för den ombyggda bilmotorn. Ett 40kW system kostar då 3.4 Mkr.

### Andra ekonomiska problem

Dessvärre är detta inte hela den ekonomiska bilden. Ännu har inget företag i världen lyckats få bränslecellstillverkning lönsam. De helt naturliga orsaker som ligger bakom detta står beskrivet i kapitel Utmaningar/Ekonomiska utmaningar

Sammantaget har vi således tre ekonomiska problem:

- Svårigheter att få gårdsbaserad CHP lönsam med dagens bristfälliga teknik
- Bränslecellssystem är ännu något för dyra
- Bränslecellsindustrin tjänar inga pengar, vilket naturligtvis inte är hållbart

För att komma vidare i en sådan teknisk/ekonomisk situation krävs breda överenskommelser, t.ex. mellan samhälle och industri.

## Utmaningar

### Tekniska utmaningar

De tekniska utmaningarna är betydligt mindre än de ekonomiska. De system, som finns på marknaden har lång livslängd och uppvisar hyggligt få barnsjukdomar.

Det saknas dock system på marknaden i det effektområde 20-50 kW, som skulle vara intressant för att ta vara på biogas från lantbruk. Det är också mycket tunt med system, som är färdiga för biogas. Det närmaste vi kommer är:

- RBZ och Clear Edge har 5 kW system. RBZ har biogassystem under utveckling. Clear Edge klarar bara naturgas.
- Intelligent Energy har tillsammans med partner bildat ett företag med fokus på  $\mu$ CHP. Företagets produkt ligger på 10 kWe och klarar bara naturgas. Produkten är i ett tidigt fältprovsstadium.
- Fuel Cell Energy försöker hitta övre effektgränsen för sina SOFC system. För närvarande arbetar de med ett 60 kW system. Företaget har ännu inte bestämt sig för vilken marknadsnisch de skall fokusera på för SOFC systemen och det lär därmed dröja innan vi får se produkter
- Inhouse och RBZ är två närbesläktade, nära samarbetande företag. RBZ utvecklar reformers medan Inhouse utvecklar bränslecellsstackar. Inhouse är största aktieägare i RBZ. Inhouse har lite mer profilen av en konsultfirma och kan utveckla skraddarsyddna lösningar åt kunden. Inhouse åtar sig att leverera system för biogas.
- Det svenska företaget Metacon planerar att sälja system inom effektområdet 1 kW – 1 MW för biogas. Företaget har levererat en fältprovsprototyp med 20 kW bränslecell 2007, och en reformer för 25 Nm<sup>3</sup>/h vätgas till ett EU- projekt i Slovenien. Den första förserieprototypen i Sverige, med effekten 5 kWe, är klar för leverans till Karlskoga Biogas AB inom kort.

Det finns således inga färdiga hyllvaror för applikationen och antalet företag att ställa förhoppningarna till är litet.

Marknaden går mot en strukturrationalisering där inte alla skall tillverka allt. **Så långt möjligt** är det därför naturligt att en systemintegratör köper färdiga bränslecellsstackar och reformersystem. Dock är tillgången på biogasreformer ytterst minimal, och integrationen med bränslecellen och processkontrollen för systemet är långt ifrån banal.

**LTPEMFC** stackar med god livslängd och för vår utvecklingsfas ganska rimliga priser är idag en handelsvara med Ballard som ledande leverantör. Även svenska Powercell kan leverera LTPEMFC stackar lämpliga för applikationen.

**HTPEM** stackar för våra tillämpningar finns inte tillgängliga i motsvarande grad som LTPEM. Ett flertal företag har under många år försökt utveckla HTPEM stackar, eftersom de skulle ha avgjorda fördelar för CHP speciellt för biogas:

- Högre tålighet mot CO, vilker förenklar reformeringen
- Högre temperatur på utgående varmvatten, avgjord fördel för fjärrvärme.

Danska Serenergy är ett av de ledande HTPEM- företagen, men vare sig pris eller livslängd möter kundernas krav ännu. Den ledande tillverkaren av membran och MEA (Membrane Electode Assembly), BASF, ha nyligen meddelat att de lägger ner tillverkningen. Ett skäl till det höga priset är att HTPEM kräver betydligt mer platina än LTPEM. HTPEM för små effekter kan komma i produktion inom de närmaste åren, bl.a. för militära applikationer, medan prisvärda stackar för CHP sannolikt dröjer åtskilliga år.

**SOFC** stackar med god livslängd är idag också en handelsvara. Så långt rapportförfattarna känner till är prisnivåerna ännu orimliga. Här kan det vara motiverat att studera utbudet djupare. Danska Haldor Topsoe tillhör världseliten vad avser SOFC stackar. Även svenska SAAN Energy kan leverera stackar.

**Reformersystem** utgör inte på samma sätt en handelsvara. Sverige har god industriell kompetens kring reformersystem för bränsleceller med företagen Powercell, Catator och Metacon via det grekiska systerbolaget helbio.

### **Gasrening**

Eftersom de flesta bränsleceller kräver en biogas mycket ren från framför allt svavelväte så ställer dessa nya krav på reningstekniken. Samtidigt får inte reningssystemen bli för dyra och komplicerade. Många industriella system passar inte att skala ned till småskaliga gårdsbiogasanläggningar. Här återstår mycket arbete med att optimera befintlig teknik med olika kombinationer av reningssystem. I Sverige finns det gott om kompetens inom detta område men relativt få tillverkare så här finns en tillväxtpotential.

Sammanfattningsvis så finns inget färdigt men det finns goda förutsättningar för att skapa biogassystem för effektområdet 20-50 kWe och Sverige har goda förutsättningar att positionera oss på den marknaden om vi fattar beslut i den riktningen. Den tekniska utmaningen från dagens startpunkt handlar mer om beslut och förverkligande än att forcera svåra hinder



## Ekonomiska utmaningar

De ekonomiska utmaningarna är mångfaldiga.

### **Kostnad för biogassystem**

Följande kostnader gäller för en svensk biogasanläggning:

Biogasanläggning (Exkl. kraft/värme)	Rötkammare 200 m <sup>3</sup>	15000 kr/m <sup>3</sup> = 3 Mkr
	Rötkammare 600 m <sup>3</sup>	6000 kr/m <sup>3</sup> = 3,6 Mkr
	Rötkammare 1000 m <sup>3</sup>	4000 kr/m <sup>3</sup> = 4 Mkr
Kraft/värme (CHP) med biogasmotor	30 kW	14000 kr/kW = 420 000 kr
	50 kW	13000 kr/kW = 650 000 kr
	100 kW	9500 kr/kW = 950 000 kr
	200 kW	7500 kr/kW = 1 500 000 kr

Typiska produktionskostnader för svenska gårdsbiogasanläggningar ligger på: 0,30– 0,60 kr/kWh biogas.

Då gasmotortekniken får betecknas som mogen finns det begränsade möjligheter att kapa kostnader för motorer och generatorer men däremot kan en hel del effektiviseras inom t.ex. kringutrustning, rötningsprocessen och styr och reglersystem.

För att möjliggöra en utbyggnad av svensk gårdsbaserad biogasproduktion måste lönsamheten höjas framför allt för mindre biogasanläggningar. Förutom genom nödvändiga statliga subventioner och stöd bör följande tekniska förbättringar utnyttjas för att bättre utnyttja potentialen i biogasproduktionen:

- Behandla det ingående substratet (t.ex. fastgödsel) genom olika former av sönderdelning för att öka gasutbytet.
- Öka samrötningen med annat organiskt avfall än gödsel vilket kan öka produktionen 30-100%
- Öka den organiska belastningen (kg rötningsbar biomassa/m<sup>3</sup> rötkammare, dygn) i rötkammaren så att upp till 50-100% mer gas kan produceras i samma rötkammarvolym och biogasanläggning.
- Använda termofil rötning med högre temperatur (ca +55 C) som ger snabbare rötning och därmed 30-40% mer gas i samma biogasanläggning jämfört med den traditionella mesofila rötningen vid lägre temperatur (ca +37 C). Hänger ihop med föregående punkt om ökad organisk belastning.
- Optimera omrörningssystemen i rötkammaren vilket kan ge både mer gas och mindre driftstörningar.
- Förbättra styrning och reglering av biogasprocessen så att optimala förhållanden råder hela tiden som kan öka gasproduktionen.
- Effektivare reningen av biogas kan ge besparingar på 5-10 öre/Nm<sup>3</sup> biogas samt bättre driftsäkerhet.

Dessa förbättringar kan utan vidare fördubbla biogasproduktionen i en normal gårdsbiogasanläggning vilket också kan sänka produktionskostnaden per kWh biogas med upp till 60 %. Som framgår ovan så är det idag svårt att få små biogasanläggningar lönsamma, men detta behöver inte vara en evig sanning. Med FoU bör lönsamma system kunna utvecklas.

### **Kostnad för bränslecellssystemen**

Bränsleceller är ännu för dyra. Det betyder inte att bränslecellsteknik är dyr, utan att tekniken ännu inte nått full mognad. Framförallt US Department of Energy (US-DOE) har med hjälp av underleverantörer gjort mycket kvalificerade beräkningar av möjliga framtida kostnader för LTPEMFC stackar och system. När dessa mål nås är tekniken billig. Allt fler har på senare tid hävdat att SOFC har en förutsättning att bli långsiktigt billigare än PEMFC.

Att de lägre kostnaderna är möjliga betyder vare sig att vägen dit är kort eller lätt. Framst handlar det om:

- Serievolym. Ännu är det bara det tyska företaget Smart Fuel Cell, som levererar goda försäljningsvolym och detta är för en annan applikation.
- Balans mellan FoU-kostnad, försäljningskostnad och produktionskostnad. Bränslecellsutvecklingen drar fortfarande mycket stora utvecklingskostnader och systemen kräver stora införsäljningsinsatser eftersom tekniken är ny och även dyr. Ofta är idag produktionsavdelningen mindre än FoU- och försäljningsavdelningarna
- Så kallad "learning curve". Fortfarande finns det tekniska sätt att sänka kostnaderna. Till exempel, så brukar behovet av dyr platina per kWe minska med en tiopotens på 10 år. Tillverkarna arbetar med att reducera antalet komponenter och göra systemen mer lättbyggda.
- Strukturrationaliseringar. För 10 år sedan, så skulle alla göra alla komponenter och det fanns för många aktörer på marknaden. Nu ökar graden av specialisering, företag köps upp och företag läggs ner.
- Mjuka faktorer, såsom företagskulturer. Om FoU-avdelningen är företagets största avdelning och FoU-arbetet har tradition av att vara forskningsnära, så skapas lätt en forskarkultur snarare än en affärsmässig kultur. Kulturella mönster är svåra att bryta.

John B. O'Sullivan uppskattade vid Fuel Cell Seminar 2006 att genombrottspriset för CHP ligger vid 1.500 – 2.500 \$/kWe (10-16.000 SEK/kWe). För  $\mu$ CHP förefaller marknaden ha uppfattat 50.000 SEK/kWe som ett genombrottspris och många japanska och tyska tillverkare har som mål att nå dit 2015. För de effektnivåer, som är aktuella för lantbruk kanske en prisnivå däremellan vore en ett rimligt mål (Denna målkostnadsnivå bör fastställas bättre utgående från de ekonomiska förhållanden som råder på ett lantbruk.)

Nippon Oils 1 kW system kostade 2012 25.000€ (220.000 SEK). Genombrottspriset enligt ovan kan antags var 50.000 SEK/kWe). US-DOE's kalkylerade möjliga framtida pris för ett PEMFC-system är 30 \$/kWe (=200 SEK och gäller system utan reformer i en storlek lämplig för bränslecellsbilar). Till dessa 30\$ skall kostnaden för reformern inklusive gasreningen läggas. Denna kostnad är inte lika väl kartlagd, men vid en systemkostnad på 50.000 SEK/kWe, så svarar säkerligen reformer inklusive rening för halva systemkostnaden. Möjligheterna till ytterligare kostnadsreduktion för reformern kräver en egen utredning.

Sammanfattningsvis så finns det goda förutsättningar att i framtiden komma ner i aktuella genombrottskostnader för systemen. Vägen dit är mödosam, men börjar se riktigt hoppfull ut.

### **Företagens lönsamhet**

Vi är vana vid att ta för givet att marknads företag har som ett av sina primära mål att skapa lönsamhet. Lönsamhet kräver en marknad och en produkt som (bland annat) tekniskt och ekonomiskt uppfyller marknadens krav.

Bränsleceller har ännu inte nått dit och det finns därför ännu inte förutsättningar för lönsamma företag. Webb sidan [www.greentechmedia.com](http://www.greentechmedia.com) gör regelbundet en lista över världens lönsamma bränslecellstillverkare. Ännu har inget företag kommit upp på listan (not 1). Tre företag, Bloom Energy, Fuel Cell Energy och Smart Fuel Cell ligger hoppfullt nära lönsamhet, men balansräkningarna för det stora flertalet företag är en bedrövlig läsning. I bottenänden har vi t.ex. Ceramics som förlorade 80 MSEK på en omsättning på 17 MSEK och Ceres Power med en förlust på 50 MSEK på en omsättning på 3,6 MSEK.

Förlusterna sker år för år, varför samtliga av företagen kumulativt har förbrukat enorma kapital.

***Den stora centrala frågan, som behöver besvaras, är vem skall betala för ny teknik som uppfyller ett samhällsbehov, men inte kan utvecklas på sund affärsmässig grund. Är det:***

- ***Industrin?***
- ***Riskkapitalister?***
- ***Kunderna?***
- ***eller samhället?***

Not 1: Det svenska företaget Cellkraft har visat lönsamhet år för år. Företagets huvudsakliga kortsiktliga affärsidé är dock inte att tillverka bränsleceller, utan att "ligga på hanen" och bevaka rätt tillfälle att gå in i marknaden och att dessförinnan sälja konsulttjänster och perifera produkter.

### **Politiska utmaningar**

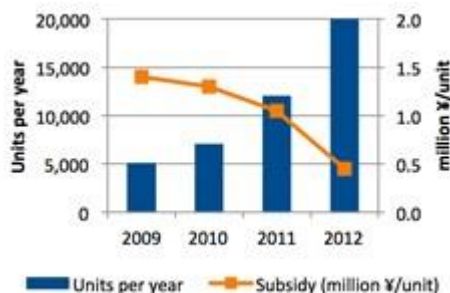
Den historiska utvecklingen mot kommersiella bränslecellssystem är fylld av två mått motgångar och ett mått framgång. Generellt kan sägas att utmaningen har varit, och är, lite större än vad som kan klaras av med "lite allmänna spridda stödpengar". Låt oss studera det som varit framgångsrikt:

#### **Den japanska satsningen på $\mu$ CHP**

Satsningen utmärks av:

- Starkt samarbete mellan offentlighet och industri
- Extremt stark fokusering. Satsningen är snubblande nära en teknikupphandling där slutprodukten är väldefinierad
- Största offentliga stödet går till marknadens köpare. På detta sätt bibehålles den positiva inverkan av marknadskrafterna även i ett subventionerat system.
- Redan från start har det funnits en plan för i vilken takt subventionerna skall klinga av. Företagen fokuserar därmed på förhållanden efter subventionsperioden, inte på sötebrödsdagarna under subventionsperioden.
- Medverkande företag har haft de ekonomiska muskler, som krävs.

Framgången för den japanska satsningen bevisas av nedanstående diagram, som vi visat tidigare:



Försäljning av bränslecellsbaseerade  $\mu$ CHP system i Japan. Källa FuelCellToday 2/2013

Trots snabbt minskande subventioner, så går försäljningen snabbt upp. Framgången skall ses i ett perspektiv av att bränslecellsutvecklingen historia har varit överfylld av brustna förväntningar.

### Den tyska satsningen på $\mu$ CHP

Den tyska satsningen på  $\mu$ CHP är i det närmaste en kopia på den japanska och så är även resultaten. Den största skillnaden är kanske ett något mindre fokus på sistnämnda kännetecknet rörande medverkande företags ekonomiska muskler.

### Marknadens mål att införa bränslecellsbilar år 2015.

2006 undertecknade ett antal olje- och bilföretag en avsiktsförklaring att introducera bränslecellsbilar i antal om många 10.000-tal år 2015. Denna avsiktsförklaring upprepades år 2009. Detta har nästan utvecklats till ett mantra i branschen och decennier av drömmar håller nu på att bli verklighet.

Satsningen utmärks av:

- En bred överenskommelse mellan många starka organisationer
- Ett tydligt mål med stark fokusering.
- Aktiv lobbyverksamhet för att få motprestationer från samhället bland annat i form av tankstationer.
- Medverkande företag har haft de ekonomiska muskler som krävs

De finns alltså klara likheter mellan vad som skapat framsteg inom ett teknikområde, som länge haft det motigt. Breda överenskommelser, smala tydliga mål och samverkan mellan offentlighet och marknadens krafter.

### Framgångsrika företag

Det finns dock en annan väg representerad bland framgångskoncepten:

Bland de enstaka bränslecells företag, som ligger nära kommersiell lönsamhet finner vi Bloom Energy och Smart Fuel Cell. Båda dessa företag är lite udda i branschen så till vida att de uppvisar en starkare kommersiell profil och en svagare FoU-nivå profil. Ett framgångskoncept är därför troligtvis även prioritera kommersiell kompetens vid tillsättningen av företagsledningarna, annars är det lätt hänt i FoU-intensiva företag att även företagsledningen har FoU-bakgrund

Vi lär oss alltså av historien att utmaningarna har en sådan dignitet att det krävs att man agerar rätt för att lyckas, men att det finns vissa guidelines för vad som ger framgång.

## Förslag till Roadmap för fortsatt verksamhet

Sammanfattningsvis från ovanstående rapport:

- Lantbruket står för en betydande del av Sveriges biogaspotential. Det är av vikt att denna biogas tas om hand för att undvika metanutsläpp till atmosfären. Befintliga system för biogas CHP för lantbruk utgår från stora ombyggda bensinmotorer med tveksamma miljö- och teknikdata.
- Vi **kan inte** förvänta oss att marknaden själv (utan stimulans) kommer att ta fram biogasbaserade bränslecellssystem för lantbruk inom en överskådlig framtid. Mycket aktiviteter sker inom bränslecellsbaserade CHP-system, men fokus ligger på naturgas och andra effektområden än vad som passar lantbruket
- Vi **kan inte** förvänta oss att biogasbaserade bränslecellssystem för lantbruk blir ekonomiskt attraktiva på kort sikt utan stimulans
- Vi **kan** förvänta oss biogasbaserade bränslecellssystem för lantbruk går att få tekniskt ekonomiskt attraktiva om området prioriteras från samhälle och industri. Troligtvis hjälper det inte med en halvhjärtad kortsiktig osamordnad prioritering.
- Lämplig industri för denna nisch finns i Sverige
- Ingen utländsk aktör har fokuserat på denna nisch. Sverige har därmed förutsättningar att bli världsledande.
- Dagens reningssystem för biogas behöver anpassas för den småskaliga gårdsbiogasproduktionen för att möta bränslecellernas höga krav. Ingen aktör inom biogasbranschen har ännu satsat inom detta område.
- Största motivet för att gå från dagens förbränningsmotorbaserade CHP system till bränslecellsbaserade system är de senares högre verkningsgrad. Högre verkningsgrad medger högre lönsamhet/mindre subventionsbehov vid samma systemkostnad. Bränsleceller ger därutöver mindre mängd skadliga avgaser och buller samt längre förväntad livslängd än system med ombyggda bilmotorer.

Vi föreslår därför följande Roadmap:

- Delgivande av rapporten till viktiga påverkande aktörer i Sverige
- Workshop tillsammans med viktiga påverkande aktörer i Sverige
- Preliminärbeslut utgående från workshopresultat att gå vidare. Ja/Nej
- Mellanutredning
  - Ekonomiska kalkyler
  - Miljöekonomiska kalkyler
  - Specificering av pilotprojekt med gårdsbaserad CHP
  - Fördjupade studier av utländska stödsystem för CHP och  $\mu$ CHP
  - Fördjupade studier av såväl kostnadseffektiv teknik för rening av biogasens föroreningar, som bränslecellers tålighet för föroreningar
  - Beräkning och bedömning av stödbehov och stödformer
- Preliminärbeslut utgående från utredningsresultat att gå vidare. Ja/Nej
- Utveckling av stödsystem med tonvikt på användarsubventioner, men även teknikutveckling.
- Parallellt genomförande av pilotprojekt