

# Förstudie bränslecell på biogas från gödselrötning: gaskvalitet och möjliga användningsområden

Pre-study: fuelcells feeded on biogas from digestion of manure:  
gas quality and potential scope of use at farms

Karine Arrhenius, Lars Rosell, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Henrik Olsson, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik  
Karin Eliasson, David Hårsmar, Hushållningssällskapet Sjuhärad  
Fredrik Silversand, Catator

## Slutrapport till Stiftelsen Lantbruksforskning, projekt nr H1140106

### Bakgrund

Gödselhantering vid animalieproduktion medför betydande miljöbelastning i form av utsläpp av klimatgaser och växtnäringsläckage. Rötning av gödsel där biogasen används till kraftvärmeproduktion minskar animalieproduktionens utsläpp av klimatgaser med 35 % för en gård med slaktsvinsproduktion och med 8% för en gård med mjölkproduktion (Nordberg m. fl., 2011). Dessutom ökar mängden växttillgängligt kväve i den rötade gödseln. (Frandsen m. fl. 2011).

Trots att det funnits ett tillgängligt investeringsstöd fanns det enligt 2012 års statistik endast 26 biogasanläggningar på gårdsnivå i Sverige. (Energimyndigheten, 2013).

De flesta svenska gårdsanläggningarna har en motor för kraftvärmeproduktion vars storlek i de flesta fall är mindre än 100 kW<sub>el</sub>. Motorerna har en elektrisk verkningsgrad mellan 25-30 % och en termisk verkningsgrad på ca 50% (Eliasson, per. med.). Motorns kylvatten användas idag oftast till uppvärmning av olika slag till exempel för bostadshus. Däremot är avsättningen för kylvärmen från kraftvärmeenheten oftast inte så stort sommartid.

Ett problem med kraftvärmeproduktion är motorens korta livslängd och behov av reparation. Livslängden kan i vissa fall vara ner mot 10 000 timmar vilket resulterar i en total kostnad på 40-60 öre/kWh producerad elektricitet inklusive kapital- och underhållskostnaden (Nordberg m. fl., 2011). Totalkostnaden för kraftvärmeanläggningen motsvarar därmed större delen av de intäkterna från den producerade elen (70 - 110 öre/kWh).

För att uppnå en långsiktig lönsamhet för småskalig kraftvärmeproduktion krävs därför bättre teknik med lägre driftskostnader, högre elverkningsgrad och gärna en möjlighet till bättre utbyte av värmeproduktionen. Dessa förutsättningar uppfylls av bränsleceller som genererar värme vid hög temperatur och uppvisar en hög elektrisk verkningsgrad även vid små anläggningar. De höga temperaturerna på restvärmen öppnar upp för alternativa användningsområden för överbliven värme som t. ex. kylning av stallar på sommaren.

Bränsleceller producerar elektrisk energi/effekt genom en kontrollerad kemisk reaktion. Den fungerar till stor del som ett batteri som inte tar slut eftersom nytt bränsle tillförs hela tiden. Alla bränsleceller har liksom batteriet en anod och en katod. Vid anoden kommer bränslet in i form av t.ex. vätgas och avger elektroner, varpå positivt laddade vätejoner bildas. Dessa vandrar över mot katoden där de tillsammans med syrgas och elektroner bildar vatten. Flera olika typer av bränsleceller förekommer. Skillnaden mellan dessa ligger främst i använd reaktant och drifttemperatur.

## Syfte

Syftet med projektet är att undersöka förutsättningarna för småskalig kraftvärmeproduktion med bränslecell som drivs med biogas från gödsel. Målet är att 1) definiera driftförhållandena för bränslecellssystem vad det gäller biogasens sammansättning vid gödselrötning och vad den högtempererade värmen kan användas till på gården. 2) Rekommendera bästa utformningen av ett bränslecellssystem vad det gäller val av gasrening, reformer och bränslecellstyp för att uppnå bästa ekonomi. 3) ge förslag till ett fortsatt projekt.

## Genomförande

Projektet har delats in i tre faser:

- Karakterisering av biogassammansättning från gödselrötning
- Inventering av möjliga användningsområden för värme från bränslecell
- Jämförelse mellan biogasbaserad kraftvärmeproduktion med motor och bränslecell avseende värmebehov, energiflödena, ”koldioxidbetraktelse” och investering.

## Material och metoder

Prov på biogas hämtades från 5 anläggningar som huvudsakligen rötar gödsel antingen från nötkreatur eller från svin. Anläggningar har valts i samråd med Karin Eliasson, Hushållningssällskapet Sjuhärad och Mats Edström, JTI.

Kriterier som var viktiga är att anläggningen har en gasproduktion på minst 0,6-0,7 Nm<sup>3</sup> biogas/reaktor/dag, uppehållstider på minst 30-35 dagar, att det finns uttag för att ta prov och att olika substrat studerades. En kort sammanställning av vilka substrat som rötas i de fem anläggningar rapporteras i Tabell 1.

Tabell 1: Anläggningar som varit med i mätningen. Substrat och svavelinnehåll. Källa Projekt ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå”

		Substrat - Beräknade eller uppmätta mängder per år						
		Nötflyt	Djupströ, Nöt	Svinflyt	Kyckling gödsel	Övrigt substrat		
	Driftstart	ton	ton	ton	ton		Svavel kg/ton substrat mix	Antal analyser av substratet
Högryd, Tvååker	2011-okt	11000	630		750		0.42	3
Hjo Nygården, Hjo	2012-jun	5000	1000				0.4	4
Frötorp, Närkes Kil	2011-apr			8000			0,45	6
Horshaga, Vedum	2011-feb			9000		Gräsklipp, Rapsvatten	1,0	4
Brunsbo, Skara	2010-sep			5,000		Raps, potatis	4,42	4

Stickprov på biogas hämtades från utvalda anläggningar vid två tillfällen. Biogasen analyserades med avseende på metan, koldioxid, syrgas, kvävgas, kolmonoxid, vatten,

ammoniak, svavelväte, vätgas, samt organiska föroreningar inkl. siloxaner. Gaskarakteriseringen genomfördes främst med en gaskromatografi med olika lämpliga detektorer beroende på ämnena samt för några parametrar via infra-röd spektrometri. De övriga delar av projektet har genomförts dels med hjälp av litteraturundersökning dels med beräkningar utförda i Microsoft Excel.

## Resultat

Resultat av gasanalyserna visas i Tabell 2:

Tabell 2: Biogassammansättning med avseende på föroreningar

	Gassammansättning, H <sub>2</sub> S i ppmv, andra i mg/m <sup>3</sup>							S kg/ton i substrat
	H <sub>2</sub> S ppm	total VOC	organiska S-ämnen	Terpener	Ketoner	Furaner	Kolväten	
Högryd; Tvååker	800	30	5	20-10	15	2	5	0.46
Hjo Nygården, Hjo	130-800	30	0.6	20	7-2	2	4	0.2
Frötorp, Närkes Kil	300-3600	20	5	<1	5	4	5	0.25-0.3 (1.1)
Horshaga, Vedum	6000	80-90	60	1	20	5	3	ca 1
Brunsbo, Skara	2500-4000	20	5	<1	5	2	3	0.4-0.5

Analyserna gjordes vid två tillfällen för varje anläggning. Resultat mellan tillfällen visade god överenskommelse förutom för svavelväte som till ex. i Hjo (130 ppmv vid första tillfälle och 800 ppmv vid andra tillfälle eller Frötorp (300 ppmv första tillfälle kontra 3600 ppmv vid andra tillfället). Det är dock inte ovanligt att gårdsbaserade anläggningar som rötar gödsel har stora variationer i rågasens svavelvätehalter. Vid båda anläggningarna förekom även vissa driftsstörningar under perioden omkring provtagningarna.

Föroreningar i biogas från gårdsanläggningar består främst av:

- Svavelväte: Svavelreducerande bakterier omvandlar sulfater till svavelväte i röt-kammaren. Sulfater produceras från nedbrytning av proteiner. Följaktligen kommer djur med proteinrik föda (som till ex. svin) att ha mer sulfater i deras gödsel (Straka m. fl., 2007). Straka et al. rapporterade att svavelvätehalt i biogas är proportionell till svavelhalt i substraten.
- Andra svavel innehållande föroreningar: tiol- och sulfidhalter följer samma trend som svavelväte, dvs om svavelvätehalten är hög är tiol- och sulfidhalten också hög vilket är fall speciellt i Horshaga.
- Terpener: Terpener vanligtvis avges från naturliga källor såsom tallar och citrusfrukter. Det är möjligt att terpener vid gårdarna med mjölkkor kommer från tall-baserade strö.
- Ketoner och furaner (organiska föreningar med C, H, O atomer): ketoner samt alkoholer och estrar produceras under acidogenesisen
- Kolväten (organiska föreningar med C, H atomer), petroleum produkter

Biogas från gårdsanläggningar innehåller totalt sett lägre halter av föroreningar än biogas framställt från andra substrat och är fri från siloxaner. Undantaget är att halterna av svavelämnena är betydligt högre (Arrhenius m. fl., 2012) (se Tabell 3).

Table 3: Sammanställning av föroreningar i biogas framställt från olika substrat

	VOC (mg/m <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> S (ppmv)	andra S-ämnen (mg/m <sup>3</sup> )	Siloxaner (mg/m <sup>3</sup> )
Matavfall	700	50-150	<1	0-1
Reningsverk	200	< 50	<1	1-11
biprodukt från livsmedelsindustri	10-30	50-500	0-10	< 0.05
Gödsel	20-90	800-6000	0.6-60	<0.05

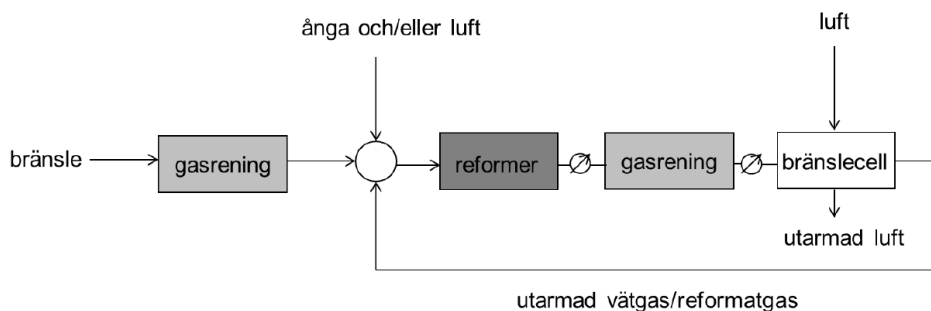
### Förutsättningar för att använda biogas framställt från gårdsanläggning som bränsle till en bränslecell

De olika tekniklösningarna som bedöms vara mest aktuella för småskalig kraftvärme med biogas är:

- LT-PEMFC: Låg temperatur polymerelektrolytbränslecell (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), el-verkningsgrad: 30-35°C, drifttemperatur: 60-90°C, bränsle: vätgas med högt krav på bränslets renhet (kolmonoxid ≤ 150 ppm(v), svavel ≤ 200 ppb(v), ammoniak ≤ några ppm(v), siloxaner, halogener ≤ 0.1-1 ppm(v), tyngre kolväten).
- HT-PEMFC: Hög temperatur polymerelektrolytbränslecell (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), el-verkningsgrad: 25-30%, drifttemperatur: 130-160°C, bränsle: vätgas med måttligt krav på bränslets renhet (kolmonoxid ≤ 1-2vol-%, svavel ≤ 10-20 ppm(v), ammoniak, siloxaner, halogener, tyngre kolväten)
- SOFC: Fastoxidbränslecell (Solid Oxide Fuel Cell), el-verkningsgrad: 40-45%, drifttemperatur: 550-900°C, bränsle: vätgas, kolmonoxid, metan, ammoniak med måttligt krav på bränslets renhet (svavel ≤ 1-2 ppm(v), siloxaner ≤ några ppm(v), halogener ≤ 10 ppm(v), tyngre kolväten).

Om biogasen skall användas som bränsle kräver bränslecellerna någon typ av bränsleberedning, en s.k. reformer. I en reformer spjälkas kolvätena (katalytiskt) i bränslet till vätgas, kolmonoxid och koldioxid. Reformering av bränslet ske antingen helt eller delvis i en separat reaktor eller i själva bränslecellen. I PEM-baserade system måste bränslet omvandlas till en väterik gasblandning, vilket sker i en reformer innehållande en rad processteg. I SOFC enheter kan metan utnyttjas direkt som bränsle utan föregående reformering, vilket är en stor fördel.

De olika tekniklösningarna ställer också olika krav på gasens renhet varför gasrening också inkluderas i ett bränslecellssystem, se figur 1.



Figur 1: Schematiskt blockschema av ett bränslesystem

Om biogasen skall användas som bränsle måste systemen förses med en effektiv svavelavskiljning för alla bränsleceller. LT-PEM deaktiveras vid svavelvätehalter överstigande ca 0,1 ppm. Metoder för reaktivering har redovisats i litteraturen men alla bränslecellstillverkare föreskriver i princip nolltolerans mot svavel. HT-PEM som har ett annat membran, har en relativt god stabilitet mot svavelväte och klarar generellt några ppm (sannolikt 10 – 20 ppm svavelväte, Silversand, 2010) utan synbara effekter. SOFC eller smältkarbonatceller (MCFC) har också en något bättre tolerans mot svavel än LT-PEM (1-2 ppmv). Även om vissa bränsleceller har en viss svaveltolerans bör man sträva efter total avsvavling av bränslegasen (halter lägre än någon/några tiondels ppm).

Under förutsättning att halterna av tyngre kolväten är så låga som redovisas i analyserna bedöms inte dessa inverka på bränslecellernas prestanda. Frågetecken finns dock om gasen kan innehålla andra föreningar än de som speciellt analyserats för. För att klargöra detta måste det sannolikt göras ett långtidstest i mindre skala i en verklig bränslecell på aktuella gaser.

## Möjliga system med bränsleceller

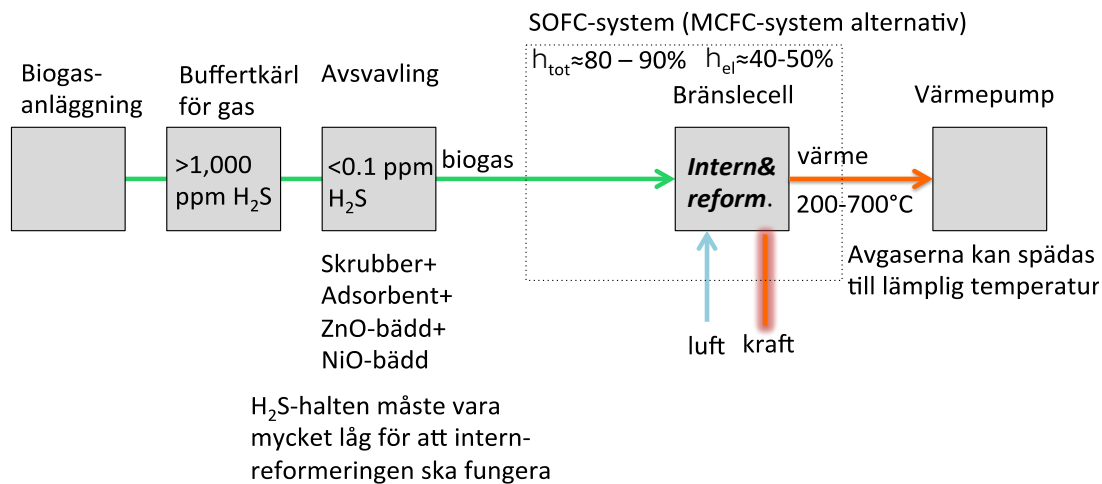
### Reformat bränsle i ett HT-PEM-system

Bränslet bör först grovavsvavlas i ett skrubbersteg eller liknande. Bränslet avsvavlas därefter i en adsorbentbed (merkaptaner) samt i en het bädd (200 – 400°C) innehållande ZnO/NiO. ZnO har en mycket hög avsvavlingskapacitet och kan vid 250 – 350°C uppta så mycket som 20 – 30 vikt% svavel. NiO läggs sist i bädden för att nå ultralåga värden avseende svavelväte. Bränslet mixas med vattenånga och leds in i en reformer där metan omvandlas till främst vätgas och koloxider. Nedströms reformern återfinns en kylare samt ett reaktorsteg där kolmonoxid nedbringas till 0.5 – 1 % genom omvandling till vätgas och koldioxid (vattengasreaktor). Reformatgasen kyls sedan till ca 150°C innan den leds in på bränslecellens anodsidan. Förvärmad luft leds in på katodsidan. Nedströms bränslecellen erhålls en varm restgas respektive luft med lägre syrenehåll än luft, vilka normalt blandas och förbränns. Bildat värme kan användas för förvärmning eller som i detta fall för att driva ett absorptionsvärmepumpsystem.

### SOFC-system med intern reformering

Avsvavling sker på samma sätt som ovan med skillnaden att avsvavlingen drivs längre. Bränslet (metan) leds in på anodsidan och luft på katodsidan då bränslecellen värmts till sin drifttemperatur via startbrännarekretsen. På anoden omvandlas metan till väte och kolmonoxid som oxideras med de syrejoner som diffunderar genom fastoxidmembranet. Nedströms bränslecellen erhålls på motsvarande sätt som ovan en restgas (med lågt värmevärde) samt luft med lägre syrenehåll än vanlig luft. Dessa flöden mixas, förbränns

och bildat värme används för värmeåtervinning i värmedväxlare. Anläggningen kan designas så att avgaserna håller en lämplig temperatur för absorptionsvärmesystemet. En separat krets med cirkulerande olja kan transportera värmen till värmepumpsystemet vid en noggrant definierad temperatur.



Figur 2: Schema av ett SOFC-system med intern reformering

## Elektrisk och termisk verkningsgrad

System baserade på högtemperaturbränsleceller ( däribland SOFC) kan uppnå elverkningsgrader på 40–50 % medan HT-PEM-alternativet sannolikt inte når mer än 30 – 35 %. Avgaserna från högtemperatursystem är lättare att tillvarata och därför ger dessa system också högre termisk verkningsgrad (totalverkningsgrad). Den totala verkningsgraden bör kunna ligga mycket nära 100 % om all restvärme tillvaratas, vilket tyvärr är svårt av praktiska skäl. Totalverkningsgrader på 80 – 90 % är därför rimliga, något lägre för PEM-baserade system.

## Användningsområden för restvärmens höga temperatur

En bränslecell som genererar värme vid hög temperatur öppnar nya användningsområden än den traditionella som är uppvärmning av tappvatten eller byggnader på gården. Exempel på nya tänkbara användningsområden är:

- Absorptionsdriven kyla. Brown & Pettersson, 2009 anger att genom att driva en absorptionsanläggning för att kyla mjölk med värme från kraftvärmelanläggning kan gårdens elförbrukning minska med motsvarande 6,8 % av kraftvärmelanläggningens elproduktion jämfört mot om en konventionell eldriven kylanläggning. Kalkylen bygger på att kylvattnet från motorn håller 95°C. Det konstateras dock att denna temperatur var för låg för att använda en standard ammoniak sorptionsteknik där man behöver en temperatur på 200°C, vilket fördyrade kostnaden för att kyla mjölken.
- Organic Rankine Cycle – ORC. Med “spillvärme” går det att driva en ORC- process för att producera elektricitet. Quoilin, 2007 anger att vid laboratorieförsök omvandlat 2,7 -7,4 % av tillförd värme vid 135 – 182°C till mekanisk energi. Även här är effektiviteten för att omvandla värme till el beroende på vilken temperatur som spillvärmens har, högre temperatur ger högre effektivitet.

- Termisk förbehandling av lignocellulosa. Det går att höja nedbrytbarheten hos halm, som innehåller svårnedbrytbar lignocellulosa, om den termiskt förbehandlas med ångexplosioner vid 180 – 220°C (Ahlgren m. fl., 2010).

Denna rapport fokuserar på möjligheten att använda värmen för att producera kyla genom standard ammoniak absorptionsteknik. Områden där kylan går att använda är t ex

- Kyla stallar under sommarhalvåret
- Kyla livsmedel så som grönsaker, kött och mjölk

I denna studie har dels effekten av att kyla slaktsvins och suggstallar inventerats genom en litteraturstudie. Vidare har miljönyttan med att ersätta ett konventionellt mjölkkylningsagregat med en ammoniak/vatten absorptionsvärmepump utretts.

## **Kylning av djurstallar**

Inom projektet gjordes en litteraturgenomgång av fördelar med att kyla sugg- och slaktsvinstallar under sommaren. Genom att sänka temperaturen i stallet under sommaren samt även genom att kyla liggplatsen för djuren går det att uppnå ett antal produktionsfördelar. Genom att hålla temperaturen kring 20°C påverkars födointaget och tillväxthastigheten hos slaktsvin positivt (Wayne m. fl.1987, Lopez m.fl. 1991). Genom att kyla liggplatsen för suggor har Silva m.fl. (2009) visat på ökat foderintag hos suggan och längre digivningstid. Mer och energirikare mjölk till kulingarna gav högre späckmått och avvänjningsvikt. Dessutom minstakade intervallet mellan avvänjning och brunst.

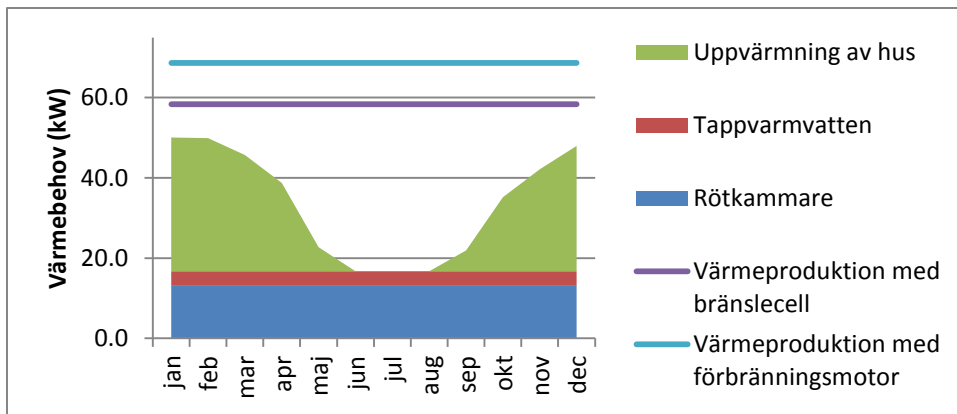
Höga temperaturer på sommaren påverkar även slaktsvinens användning av boxsystemet. Vid högre temperatur väljer slaktsvin ofta att söka svalka på spalten och använder liggplatserna som gödselplats i stället (Zoric m.fl. 2012). Detta leder bl.a. till ökat arbete för personalen.

Att kyla inomhustemperaturen i stallarna under sommartid medför att ammoniakavgången till inomhusluften reduceras. Det är positivt och leder till minskat ventilationsbehov, vilket är en energibesparing (Botermans m.fl. 2010).

## **Kylning av mjölk**

För att studera möjliga avsättningsområdena för värme med hög temperatur har en fiktiv typgård används där produktionen utgår ifrån 240 mjölkkor. Gårdens hela gödselproduktion och grovfoderspill rötas, vilket bedöms generera ca 600 m<sup>3</sup> biogas/dag (3,5 MWh gas/dag). Gården har robotmjölkning och den årliga mjölkproduktionen antas ligga på 2160 ton/år.

Den valda typgården har studerats utifrån tre scenarior. Första scenariot tjänar som referensscenario och består av ett konventionellt mjölkkylningsystem och kraftvärmesystem. Andra scenariot byts den konventionella kraftvärmeenheten ut mot en SOFC bränslecell. I det tredje scenariot byts även mjölkkylningsutrustningen ut mot en absorptionskylmaskin. Figur 3 visar antaget värmebehov för typgården samt anslutna fastigheter. I figur 3 finns även värmeproduktionen baserad för fallet med en konventionell kraftvärmeenhet med termisk verkningsgrad på 47 % samt en bränslecell med termisk verkningsgrad på 40 %.



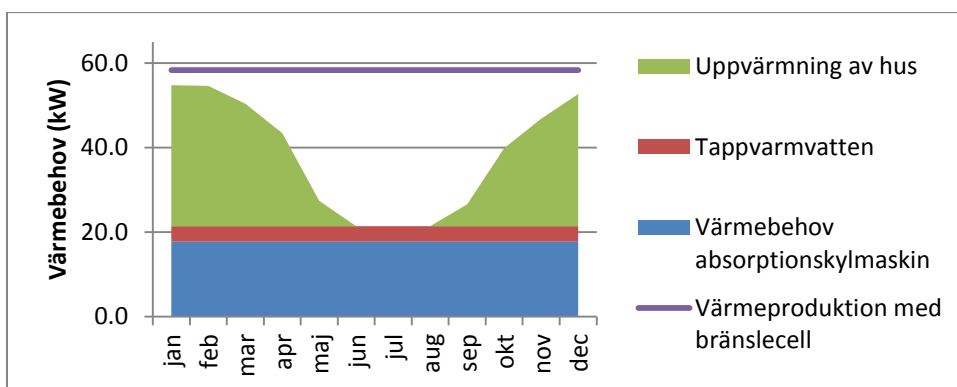
Figur 3: Antaget uppvärmningsbehov och tillgänglig värme för typgården med en konventionell kraftvärmeenhet samt fallet med en bränslecell

Grundförutsättningarna för en absorptionsvärmepump antas vara att tillförd värme från bränslecellen håller 200°C. Som värmesänka kommer rötkammaren att användas, vilket betyder att utgående värme från kylmaskinen bör vara ca 45°C. Bassetat på Brown och Pettersson (2009) antas det att den kalla sidan behöver hålla en temperatur på ca 0°C för att klara av att kyla mjölken till mindre än 4°C.

Valet av kylmaskin för detta projekt är en Robur GAHP GS. Denna kylmaskin är egentligen en naturgaseldad bergvärmepump. Värmepumpen kan leverera en köldbärare under 0°C (Andersen 2013). Det antas att det går att modifiera värmepumpen så att värmen från bränslecellen går att överföra till värmepumpens generator. Ayadi m.fl. (2008) redovisar ett projekt där en modifiering av en liknande pump gjorde att värmen överfördes med hjälp av en värmeslinga där olja användes som värmebärare. En annan tänkbar lösning är att leda in rökgaserna från bränslecellen direkt till värmepumpen.

Kylmaskinen har ett värmebehov på 25 kW. När kylanläggningen levererar överskottsvärme vid 45-50°C har den en kylkapacitet på 12-13 kW (Robur n.d.). För en robotgård av denna storlek behövs en kylkappacitet på 11-18 kW för att klara topplasten som inträffar om alla robotar levererar mjölk samtidigt (Herolf 2013). Den valda kylmaskinen är i något minsta laget, men för energiberäkningarna saknar detta betydelse. Beräkningarna nedan baseras på att det årligen kyls bort 78 MWh värme från mjölken vid gården.

När absorptionskylmaskinen ersätter den konventionella mjölkkylningsutrustningen förändras både värme- och elbalansen för gården. Dels ökar behovet av högvärdig värme för att driva kylanläggningen vilket illustreras i figur 4. I figur 4 finns inget värmebehov för rötkammaren angivet eftersom detta täcks av lågvärdig värme från kylmaskinen. Elförbrukningen för kylning av mjölken reduceras även kraftigt.



Figur 4: Antaget behov av värme med temperatur över 50°C samt bränslecellens värmeproduktion



Scenario 1 genererar ett årligt värmeöverskott på ungefär 310 MWh. När kraftvärmeenheten byts ut mot en bränslecell minskas detta värmeöverskott till ungefär 220 MWh pga att bränslecellens lägre termiska verkningsgrad. Genom att introducera absorptionskylmaskinen i systemet minskar värmeöverskottet från kraftvärmeenheten ytterligare till ungefär 180 MWh/år. Men från kylmaskinen finns det spillvärme på ungefär 230 MWh/år varav 180 MWh/år antas gå att använda till uppvärmning av rökammaren. Det bör även nämnas att absorptionskylmaskinen har en kapacitet att producera mer kyla än vad mjölk tanken behöver. Teoretiskt sett skulle den kapaciteten kunna användas till att kyla andra applikationer under sommaren när det finns ett överskott av högvärdigt värme.

Även elproduktionen på gården förändras av en bränslecell och absorptionskylmaskin. Antas den konventionella kraftvärmeenheten ha en el-verkningsgrad på 33 % och bränslecellen på 45 % ökar den årliga elproduktionen med ungefär 150 MWh/år. Absorptionskylmaskinen minskar även elförbrukningen för gården med ungefär 36-38 MWh/år, baserat på ett elbehov på 19 kWh/ton mjölk för konventionell mjölkkyllning (Baky m.fl.2010). Om det i enlighet med Nordberg m.fl. (2011) antas att den ökade elproduktion ersätter fossil kolkraft skulle detta betyda en reduktion av koldioxidutsläpp med 127 ton/år för scenario 2 jämfört med basfallet. Antas det att elbesparingen för kylmaskinen minskar behovet av fossil kolkraft blir den totala minskningen 153 ton/år för scenario 3 jämfört med basfallet. Antas ett värde på 587 kr/MWh för den extra elen producerad i scenario 2 jämfört med scenario 1 fås ett värde på knappt 90 000 kr/år.

## Slutsatser och diskussion

Det är fullt möjligt, om än dyrt, att realisera båda de föreslagna systemen. Beroende på enkelhet och direkt kompatibilitet mot bränslet (metan) bör SOFC-systemet vara förhandsalternativet även om tekniken fortfarande dras med vissa barnsjukdomar (bl.a. problem vid termomekanisk cykling).

För att bedöma vikt/volymer med noggrannhet krävs en designstudie, vilket skulle kunna vara nästa steg. Ett experimentellt inriktat projekt bör först baseras på ett nedskalat system (1/10 eller liknande) för att begränsa kostnader och risker. Samtidigt skulle man i ett sådant upplägg möjliggöra test av några olika systemval. Förutom kostnad, komplexitet och verkningsgrad är det av grundläggande betydelse att designa/välja ett driftmässigt robust system.

Det pågår f.n. en del EU-projekt riktade mot SOFC-system (bl.a. Topsøe Fuel Cell a/s deltar i sådana projekt). En möjlighet är att ta kontakt med detta konsortium för att erhålla kompletterande information om teknikläget.

## Resultatförmedling och publikationer

Resultat av analyserna har kommunicerats till alla medverkande gårdar. En sammanfattning av projektet har också lagts in på hemsidan [www.bioenergiportalen.se](http://www.bioenergiportalen.se) där projektet "Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå" har en hemsida för sina projektresultat.

## Referenser

Ahlgren S., Baky A., Bernesson S., Nordberg Å., Norén O., Hansson P.-A. 2010. Det svenska jordbrukets framtida drivmedelsförsörjning. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 392. JTI, Uppsala.  
Andersen J. 2013 Milton Sverige AB Personlig kontakt  
Arrhenius K, Johansson, U., 2012, rapport SGC246, Karakterisering av föroreningar i biogas före och efter uppgradering till fordonsgas.

Ayadi O. Doell J. Aprile M. Motta T. 2008. Solar energy cools milk. Eurosun 2008. 1<sup>st</sup> International Congress of Heating, Cooling and Building. 7th to 10th October, Lisbon, Portugal

Baky A. Sundberg M. Brown N. 2010. Kartläggning av jordbrukets energianvändning. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. Tryck: JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

Botermans J. Gustafsson G. Jeppsson K-H. Brown N. Rodhe L. 2010. Measures to reduce ammonia emissions in pig production – Review. Swedish University of Agricultural Sciences. Landscape Horticulture Agriculture Reportseries. Alnarp. Sweden

Brown N. & Pettersson O. 2009. Värmedriven mjölkkyllning i syfte att öka lönsamheten vid gårdsbaserad biogaskraftvärme. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 388. JTI, Uppsala.

Energimyndigheten. (2013). *Produktion och användning av biogas 2012*. Energimyndigheten och Energigas Sverige.

Frandsen T. Q., Rodhe L., Baky A., Edström M., Sipila I. K., Petersen S. L., Tybirk K. 2011. BalticSea 2020. Best Available Technologies For Pig Manure Biogas Plants In The Baltic Sea Region. Published by Baltic Sea 2020, Stockholm. 159 pp.

Herolf A. 2013 R&D Manager. Wedholms AB. Personlig kommunikation.

J. Lopez, G. W. Jesse, B. A. Becker and M. R. Ellersieck. 1991. Effects of temperature on the performance of finishing swine: I. Effects of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake, and feed efficiency. *J Anim Sci* 1991. 69:1843-1849

Nordberg U., Edström M., Baky A. 2011 Rötning på gårdar i Uppland och Stockholm. Länsstyrelsen i Stockholms län.

Quoilin, S. 2007. Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration, University of Liege, faculty of applied sciences, aerospace and mechanical engineering, thermodynamics laboratory

Silva B A N., Oliveira R F M., Donzele J.L. Fernandes H.C. Lima A.L. Renaudeau D. Noblet J., 2009. Effect of floor cooling and dietary amino acids content on performance and behavior of lactating primiparous sows during summer. *Livestock Science*, 120, 25-34.

Silversand F., 2010, rapport SGC 223, ComfortPower, Design, construction and evaluation of a combined, fuel-cell and heat pump system.

Straka, F. et al., 2007. Anaerobic fermentation of biomass and wastes with respect to sulfur and nitrogen contents in treated materials. Sardinia, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium.

Wayne F. Strasbury J. John J. McGlone F. Leland F. 1987. Effects of season, floor type, air temperature and snout coolers on sow and litter performance. *J Anim Sci* 1987. 65:1507-1513.

Zoric M. Sahlander P. Mattsson P. Johansson S.E. Johansson M. Wallgren P. 2012. Ny design av stallbyggnader för växande grisar – sommarhörhållanden. *Svensk veterinärtidning*. Nummer 1 sida 11-21