



Kraftvärmeproduktionen vid fyra lantbruksbaserade biogasanläggningar

Rapport i projektet "Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå"



Förord

Projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå* ägs av Hushållningssällskapens Förbund och utförs i nära samarbete med Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI). Projektets främsta syfte är att utvärdera gårdsbiogasanläggningar avseende teknik, drift, biologi och ekonomi. Projektet pågår mellan 2011 och 2014, och i skrivande stund ingår cirka 20 anläggningar i projektet. Dessa besöks regelbundet av projektets rådgivare.

Det viktigaste syftet med projektet är att inhämta och sprida kunskap om gårdsbiogasproduktion till befintliga och blivande anläggningsägare. Projektet ska därutöver utveckla och formulera rådgivning till branschen.

Denna rapport redovisar en delstudie inom projektet, vilken undersökt driften av elproduktionen vid fyra av de studerade anläggningarna. Sammanställningen är gjord av Gunnar Hadders, HS-konsult i Uppsala som även är en av rådgivarna i projektet. Projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå* finansieras av Jordbruksverket via EU-medel.

Vi vill härmed tacka alla som bidragit till studiens genomförande. Ett speciellt tack riktas till ägarna av de studerade anläggningarna.

Stockholm augusti 2013

Jesper Broberg, VD Hushållningssällskapens Förbund

Gunnar Hadders, huvudförfattare

Karin Eliasson, projektledare

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
1 Inledning	5
1.1 Metod	5
1.2 Kraftvärmeenheter	5
2 Resultat	7
2.1 Basfakta kraftvärmeenheten	7
2.2 Driftsdata	9
2.3 Några uppgifter kring kraftvärmeenheternas servicebehov och driftskostnader	11
2.4 Driftsstörningar	12
2.5 Driftstider	13
2.6 Värmeåtervinning och oljekylare	13
2.7 Arbetsinsats	13
2.8 Försäljning av el	14

Sammanfattning

I denna studie jämförs elproduktionen vid fyra lantbruksbaserade biogasanläggningar. Syftet är att delge resultaten och sprida kunskapen till befintliga och blivande anläggningsägare. Studiens slutsatser och diskussion gör en samlad bedömning och ger därtill ett antal råd utifrån projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå*.

Följande är studiens viktigaste slutsatser:

1. Anläggningen med dual fuel-motor har högst elverkningsgrad (34 procent), medan stirlingverken har lägst elverkningsgrad (17 procent).
2. Produktionen av el relaterat till insatsen metan var 1,7 kWh el per Nm³ för stirlingmotorerna, och 2,7 respektive 2,9 kWh el per Nm³ för ottomotorerna och 3,7 kWh el per Nm³ för dual fuel-motorn, där delar av energin kommer från den diesel som tillsattes (0,8 liter/timme).
3. Uppnådda driftstider under den studerade tolv månadersperioden (motsvarande 8 700 timmar) varierade mellan 3 800 och 8 200 timmar. Vanligaste orsaker till stillestånd var brist på gas och för hög halt svavelväte i rågasen.
4. Utnyttjandegraden av generatorernas kapacitet har varierat mellan 50 och 100 procent. Anledningarna till ej utnyttjad kapacitet var dels att generatorerna gått med begränsad effekt pga. brist på gas, dels stillestånd enligt punkt 4.
5. Underhålls- och driftskostnaderna per producerad enhet el varierade stort beroende på vald teknik och anläggningens storlek. Kostnaden vid ett litet stirlingverk var i särklass dyrast med 50 öre/kWh el. Motsvarande uppskattningar för dual fuel-motorn var 33 öre/kWh (inklusive 12 öre/kWh för diesel) och för de två ottomotorerna 6,5 respektive 11,5 öre/kWh producerad el. Vi har då satt arbetskostnaden för ett oljebyte till 1 000 kr.
6. Arbetsinsatsen för att sköta kraftvärmeenheten upplevdes liten i jämförelse med arbetet kring själva biogasprocessen.
7. Anläggningsägarna är eniga om att kraftvärmeverken i sig haft få driftsstörningar vid korrekt skötsel. Däremot har kraven på låg halt svavelväte för att skydda motorerna varit en indirekt orsak till många driftsproblem och därmed ett bortfall av elproduktion.

Dagens ägare av anläggningar för produktion av biogas baserad på jordbruk är fortfarande på många sätt pionjärer, vilket gör att man stöter på problem som är vanliga vid verksamheter under utveckling. Det kan handla om allt från bristfälliga instruktioner och samarbetsproblem med återförsäljare av utrustning till anläggningarna som sådana samt inköpare av producerad el.

1 Inledning

Frågeställningen i denna rapport är om det finns likheter respektive skillnader i olika slags kraftvärmeenheter för elproduktion av biogas. Syftet är att delge resultatet och därmed sprida kunskapen till befintliga och blivande anläggningsägare av lantbruksbaserad biogas.

1.1 Metod

Uppgifterna i denna rapport bygger på:

- telefonintervjuer med ägarna till fyra gårdsbaserade biogasanläggningar
- material i form av data och anteckningar som samlats in vid de besök som rådgivarna regelbundet gör på biogasanläggningarna inom ramen för projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå*.

De undersökta anläggningarna i denna rapport benämns enligt följande¹:

Anläggning	Typ av motor
W	tändstiftsmotor
X	tändstiftsmotor
Y	dual fuel-motor (diesel)
Z	stirlingmotor

1.2 Kraftvärmeenheter

På de biogasanläggningar som ingår i projektet (se www.bioenergiportalen.se) förekommer i dag tre typer av motorer för att generera el av biogasen:

1. ottomotor, dvs. en motor med tändstift av samma typ som används i t.ex. personbilar som drivs med bensin eller fordonsgas
2. dual fuel-motor (tvåbränslemotor), vilket i detta sammanhang avser en kompressionsmotor av samma typ som i fordon som drivs med diesel
3. stirlingmotor.

Användning av biogas i tändstiftsmotorer är en väl beprövad teknik. Underhållskostnaderna består av relativt täta byten av olja med ett intervall på 500-1 000 timmar (en gång per 3–6 veckor) samt byten av tändstift. Motorn är billigare i inköp än en dieselmotor men i gengäld begränsas verkningsgraden till ungefär 25 procent.

Användning av dieselmotorn är också en beprövad teknik. (I det här sammanhanget drivs den med såväl biogas som diesel och kallas därför dual fuel-motor.) Teknikens fördel är att man kan nå en verkningsgrad på cirka 35 procent och att man slipper byten av tändstift. Nackdelar är att det är en

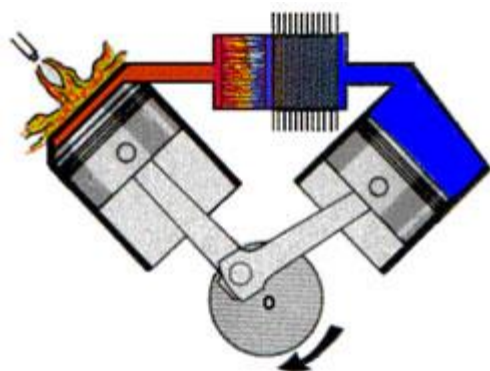
¹ Inom projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå* används en annan benämning på anläggningarna utifrån substratmix.

dyrare motor samt att man behöver tillsätta diesel för att bränslet ska antändas. Den tillverkade elen kan därmed inte betraktas som helt förnybar.

Stirlingmotorn är mindre känd men används en del i till exempel ubåtar. Den fungerar genom att en valfri gas omväxlande värms upp och kyls ner i en eller flera cylindrar. Detta leder i sin tur till tryckskillnader i cylindern som pressar upp respektive drar ned kolven. Värmen kan i princip komma från vilken värmekälla som helst – inte bara från förbränning av ett bränsle. Stirlingmotorn är enklare konstruerad än en explosionsmotor; exempelvis saknar den ventiler.

En nackdel med stirlingmotorn är att den är svårare att reglera än otto- och dieselmotorer, vilket är ett skäl till att den inte kommit till användning i fordon. Vid stationär drift för elproduktion är detta däremot inget problem. Motorn är i dag avsevärt dyrare per effektenhet men behovet av underhåll är avsevärt mindre, främst beroende på stort intervall mellan oljebytena.

Den stirlingmotor som är aktuell vid biogasanläggningen Z i denna studie använder helium som arbetande gas i cylindrarna och värmen produceras med en gasbrännare.



Figur 1. Principskiss för funktionen hos en stirlingmotor (källa:ThinkQuest.org).

2 Resultat

De aktuella anläggningarna i denna studie har valts ut utifrån syftet att presentera drift med tre olika tekniker – tändstiftsmotor, dieselmotor samt stirlingmotor. Projektet har följt dessa anläggningar under mer än ett och det finns relativt sett tillräckligt bra med data.

Tabell 1. Grunddata om studerade kraft-/värmeanläggningar.

Anläggning	W	X	Y	Z
Substrat	Nötflyt och djupströ nöt (ca 5 procent av nötsubstratet) samt kycklinggödsel	Nötflyt (köttproduktion) + godisrester	Svinflyt, potatisstärkelse, rapsavrens, vaniljkräm, nötflyt (mjölkproduktion)	Nötflyt (mjölkproduktion)
Producerad rågas brutto under tolv månader*	1 800 MWh	1 500 MWh	900 MWh	300 MWh
Användning av el och värme	El till egna stallar (mjölkkor). Värme till bostäder, spannmålstork och badbassäng. Kylbatteri finns. Anläggningen säljer endast små mängder el.	100 MWh el går till den egna produktionen (nötkött). Resten säljs, vilket hittills inte gett några större intäkter. Värmen går till växthus hos grannen.	El och värme till stall för 3 200 slaktsvin samt fyra bostäder och spannmålstork. Ackumulatortank på 43 m ³ . Kylbatteri finns. Säljer endast små mängder el.	El används till maskiner och utrustning på gården. Värmen används till bostäder, stall (mjölkkor) och kornas dricksvatten. Anläggningen säljer ingen el.

* Tolv månadersperiodernas förläggning över året varierar från anläggning till anläggning men samma period gäller genomgående för respektive anläggning i samtliga tabeller.

Att notera: Anläggningarna varierar i storlek vad gäller årlig produktion av energi från 300 till 1 800 MWh. Samtliga har flytgödsel från nötkreatur eller svin som huvudsubstrat. Inte av anläggningarna har någon betydande intäkt av försäljning av el utöver det egna behovet. Det huvudsakliga skälet till att man valt en kraftvärmeenhet är att man kan använda elen internt och slippa köpa el till djurproduktionens drift.

2.1 Basfakta kraftvärmeenheten

Anläggningarnas kraftvärmeenheter består av en motor och en generator. En betydande del av värmen från motorerna tas till vara genom motorernas kylvatten och genom att avgaserna leds via värmeväxlare.

Tabell 2. Några basfakta för anläggningarnas kraftvärmeenheter

Anläggning	W	X	Y	Z
Motor och tillverkare	Ottomotor, MAN	V8 ottomotor, Chevrolet	Dual fuel, Schnell	Stirling, Cleanergy
Generator	100 kW	75 kW	60 kW	2 x 9 kW
Start av kraftvärmeproduktion	Januari 2012	September 2011	Januari 2012	April 2011
Förekomst av denna typ av kraftvärmeenheter för biogas	Tre lantbruk och en handfull kommunala anläggningar.	Sex som är i drift vid lantbruk samt ytterligare tre sålda.	Tre stycken likadana i utvärderingsprojektet	Anläggningen har det första stirlingverket från Cleanergy som går på biogas. Ytterligare två är levererade.

Kraftvärmeenhetens investeringskostnader kommer att behandlas i en ytterligare studie i detta projekt.

2.2 Driftsdata

I tabell 3 nedan visas några driftsdata för anläggningarnas kraftvärmeenheter.

Tabell 3. Driftsdata för anläggningarnas kraftvärmeenheter

Anläggning	W	X	Y	Z
Motor	Ottomotor, MAN	V8 ottomotor, Chevrolet	Dual fuel, Schnell	Stirling, Cleanergy
Generator	100 kW	75 kW	60 kW	2 x 9 kW
Elproduktion under ett år*	400 MWh	330 MWh	320 MWh	32 MWh
Driftstimmar under ett år*	6 555	8 200	5 000	6 700 resp. 3 800 timmar
Tillförsel av annat bränsle	Ej aktuellt	Ej aktuellt	Diesel: 0,8 liter/timme	Ej aktuellt
Elproduktion specifikt	1,48 kWh/Nm ³ biogas 2,89 kWh/Nm ³ metan (daglig registrering) av halten metan)	1,4 kWh/Nm ³ biogas 2,7 kWh/Nm ³ antaget 52 % metan alla dagar	2,0 kWh/Nm ³ biogas (delar av energin kommer från diesel) 3,7 kWh/Nm ³ metan (delar av energin kommer från dieseln, daglig registrering av halten metan)	1,0 kWh/Nm ³ rågas 1,74 kWh/Nm ³ (antaget 58 % metan alla dagar)
Elverkningsgrad enligt nedan	29 %	27 %	34 % (energin från biogas och diesel sammantaget)	17 %
Generatorn går i genomsnitt vid % av nominell effekt	61 %	54 %	107 %	44 %

* Tolvmånadersperiodernas förläggning över året varierar från anläggning till anläggning men samma period gäller genomgående för respektive anläggning i samtliga tabeller.

Tabellförklaringar

<p>Elverkningsgraden räknats ut på följande sätt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El ut från verket dividerat med mängden energi in i verket <p>Mängden energi in i verket har beräknats enligt följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mängden biogas till motorn x en antagen halt metan i gasen x 9,97 kWh/Nm³ metan 	<p>”Generatorn går i genomsnitt vid % av nominell effekt” avser beräknad elproduktion under 365 dagar dividerat med angivet antal driftstimmar under 365 dagar, dvs. kWh/timme, satt i relation till generatorns märkeffekt, kW.</p>
---	--

Att notera: Dual fuel-motorn är den motor som har nått bäst produktionsresultat under de timmar motorerna har varit igång, även om man tar hänsyn till att delar av energitillförseln sker via diesel. Stirlingverken ger färre kWh el per kWh tillförd metan. Generatorn med dual fuel-motorn är den som har

gått i särklass närmast sin märkeffekt. (Att värdet överstiger 100 procent beror sannolikt på att vi använt bara ett värde per dygn för metanhalten, som ligger till grund för beräkningen av energimängden in i motorn. Att generatorerna vid de andra anläggningarna utnyttjats sämre har åtminstone till viss del att göra med brist på gas.

2.3 Några uppgifter kring kraftvärmeenheter servicebehov och driftskostnader

Frågan om kraftvärmeenheters driftskostnader och servicebehov är viktigt att utreda. Vi har i denna studie sammanställt några tillgängliga data. Hela biogasanläggningens investeringsnivåer samt drift- och underhållskostnader kommer utredas i en separat studie senare under projekttiden.

Tabell 4. Några uppgifter kring kraftvärmeenheter servicebehov och driftskostnader

Anläggning	W	X	Y	Z
Motor	Ottomotor, MAN	V8 ottomotor, Chevrolet	Dual fuel, Schnell	Stirling, Cleanergy
Generator	100 kW	75 kW	60 kW	2 x 9 kW
Av leveranstören uppgivna värden för drift och underhåll	Oljebyte efter 1 000 timmar. Oljeförbrukning 50 g/h. Årsdrift 425 kg. Beräknad drifttid 8 200 h/år.	Oljebyte efter 400 timmar. Tändstiftsbyte 3 gånger/år.	Oljebyte efter 600 timmar (krav på en specielltysk olja). Service på motor efter 3 600 timmar.	Oljebyte efter 40 000 timmar. Fyra servicetillfällen på tre år enligt ett särskilt schema då brännaren görs ren, man byter cylindrar m.m.
Underhåll 2012	Olja: Cirka 600 l/år (9 g/h). 8 byten + 8 oljefilter. Tändstift: Inspekteras, rengörs och justeras i samband med oljebyte, byts vid behov. Arbete: 16 h/år.	Olja: 17 l/byte + cirka 8 liter påfyllning = 520 liter/år (6 g/h) + 21 oljefilter. Tändstift: 3 000 kr/år Arbete: 20 h/år	Tysk olja (krav från motortillverkaren), 40 kr/l = 12 000 kr. Cirka 15 liter/byte (2,5 g/h) vid 11 byten. Service från tillverkaren: 3 x 1 200 euro = 30 000 kr/år. Arbete: 11 h/år.	Olja: 1,5 l/40 000 timmar (5 år). Påfyllning av helium, 4 500 kr/år. Service: 16 000 kr/år. Arbete: 5 h/år.
Underhållskostnad 2012	18 000 kr + 8 000 kr för eget arbete med byte av olja	17 000 kr + 21 000 kr för eget arbete med byte av olja	67 000 kr + 11 000 kr för eget arbete med byte av olja	21 000 kr
Underhålls- och driftskostnad per producerad enhet el	65 kr/MWh	115 kr/MWh	200 kr/MWh + 120 kr/MWh diesel = 320 kr/MWh	500 kr/MWh

Att notera: Rekommendationerna vad gäller byte av olja hos de aktuella ottomotorerna har varierat. Underhålls- och driftskostnaderna per producerad varierar stort beroende på vald teknik och storlek på anläggning, där ett litet stirlingverk är i särklass dyrast. Serviceintervallen för stirlingmotorerna (fyra servicetillfällen på tre år) är avsevärt längre än för övriga (oljebyten minst åtta gånger per år).

2.4 Driftsstörningar

Anläggningsägarna är eniga om att kraftvärmeverken har få driftsstörningar vid korrekt skötsel. Däremot har kraven på låg halt av svavelväte (för att skydda motorerna) indirekt orsakat många driftsproblem och ett bortfall av elproduktion.

Felaktiga instruktioner om service har i ett fall lett till lagerhaveri, i ett annat fall till att kamringarna i en motor brände fast på kolvarna.

Instruktionerna från motortillverkarna är tydliga för tre av anläggningarna vad gäller kravet på maximalt tillåten halt av svavelväte i gasen (se tabell 5), och vi uppfattar att anläggningsägarna har varit noga med att följa instruktionerna och stängt av motorerna när halten svavelväte överstigit uppställda krav. Därför kan vi inte säga något om hur känsliga motorerna är för svavelväte i biogasen.

Tabell 5. Av motortillverkarna angivna gränsvärden för halten svavelväte i biogasen för att undvika skador på motorerna.

Anläggning	W	X	Y	Z
Av motortillverkarna angivet gränsvärde för halten svavelväte, ppm	200	Inget strikt värde angivet. Halten ligger alltid under 500.	—	200

För stirlingverken, vilka var de första av Cleanergys verk som drevs med biogas, fanns från början inga eller mycket generösa krav avseende svavelväte. Detta ledde till att det bildades svavelsyra i verkens värmväxlare. Växlarna har modifierats och har numera en beläggning av syrafast stål. Dessutom har kravet för maximal halt svavelväte skärpts avsevärt.

Följande tekniker förekommer vid de fyra anläggningarna för att hålla nere halten svavelväte i biogasen:

- tillsats av luft till biogasen
- tillsats av järnklorid alternativt att gasen passerar järnskrot
- vattenskrubber
- kolfilter.

Halten svavelväte i biogasen är beroende av en mängd olika parametrar och den är en följd av såväl mikrobiologiska processer som tekniska lösningar. Hur man har valt att hantera svavelvätehalten i biogasen vid biogasanläggningar på gårdsnivå hanteras i rapporten *Metoder för svavelreducering* som även den är framtagen inom ramen för projektet *Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå*.

2.5 Driftstider

Ett försök att uppskatta stillestånd respektive gångtid hos de olika anläggningarna visar att nästan samtliga driftsstopp beror på fel eller brister utanför själva kraftvärmeenheten, till exempel brist på gas och/eller för hög svavelvätehalt i gasen. De avbrott som är direkt kopplade till kraftvärmeenheten begränsar sig normalt till schemalagd service.

För en av anläggningarna har tillverkaren uppgett driftstiden till 8 200 timmar per år, vilket motsvarar ett stillestånd på 560 timmar. Tre av de fyra undersökta anläggningarna har lägre driftstider, som till viss grad kan förklaras av annat än dålig tillgänglighet hos motorer och generatorer. Det har visserligen förekommit haverier men de har inträffat utanför de perioder som redovisas i denna rapport. De haverier som har noterats har handlat om skurna lager pga. felaktigt smörjschema, fastbrända kolringar pga. felaktiga instruktioner om oljebyte samt skadad rökgaskylare pga. bristande gränsvärde för halten svavelväte.

Motorernas och generatorernas hållbarhet har inte kunnat belysas här, eftersom studien begränsar sig i tid. Det har dock kommit fram i andra studier, att motorer som är i drift dygnet runt, året runt har en relativt kort livslängd i år räknat, även när de underhålls på perfekt sätt. Man kanske inte behöver byta hela motorn, men efter fyra–sex år är det ofta aktuellt med en fullständig renovering.

2.6 Värmeåtervinning och oljekylare

Samtliga motorer i studien har redan från start haft värmeåtervinning ur rökgaserna. Motorerna i åtminstone tre av de fyra fallen har varit försedda med oljekylare från början, och en separat oljekylare ökar förutsättningarna för effektivare motordrift och bättre tillvaratagande av energin i biogasen.

2.7 Arbetsinsats

Arbetsinsatsen för att sköta kraftvärmeenheten upplevs av samtliga anläggningsägare som i stort sett försumbar i jämförelse med arbetet kring biogasreaktorn och matningen av den. Sannolikt har det varit svårt att hålla isär arbete kring inkörningsproblem, vilket vi upplever att alla har haft, och rutinmässiga insatser kring såväl biogasprocessen som kraftvärmedelen.

Arbetet med motorn begränsar sig i huvudsak till byte av olja, och tändstift i förekommande fall, vilket handlar om 30–40 timmar per år eller mindre. Däremot har kraven på låg svavelvätehalt för att skydda motorerna indirekt varit orsak till många arbetstimmar. För att försäkra sig om att halten svavelväte inte gått upp analyserar flera av anläggningsägarna gasen manuellt varje dag (arbetstid ca 5–10 minuter per dag). Är nivån svavelväte för hög stannas motorn manuellt och startas om först när en bra kvalitet på gasen är uppnådd igen.

2.8 Försäljning av el

Försäljningen av el till nätet genererar inte någon nämnvärd inkomst vid någon av anläggningarna, även om det för ett företag utgör mer än två tredjedelar av produktionen. Elen säljs till priset på Nordpool, en så kallad spotmarknad för el i Norden, där priset varit lågt mycket långa perioder de senaste åren. Den minsta anläggningen har valt att inte registrera sig som elleverantör bland annat av administrativa skäl. Anläggningen är ändå uppkopplad mot det nationella elnätet, vilket är nödvändigt av rent tekniska skäl, och tillfälliga överskott levereras dit utan ersättning.

För handeln med så kallade elcertifikat har två anläggningar tagit hjälp av en extern konsult medan en tredje anläggning sköter det själv. I det senare fallet har certifikaten samlats på ett konto utan att säljas vidare.

Kontakter med lokala nätägare har ibland varit besvärliga. En ägare upplever sig ha blivit oseriöst behandlad.

Gunnar Hadders

0705 56 40 66 | gunnar.hadders@hushallningssallskapet.se

Hushållnings
sällskapet

