



Examensarbete *Masters thesis*

# Energibalans för biogas på mjölkgård – högkvalitetsvall till mjölkkor och lågkvalitetsvall till biogas

*Energy balance - biogas on dairy farm. High quality forage to milk cows and low quality forage to biogas digester.*

Mårten Svensson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för energi och teknik

Energibalans för biogas på mjölkgård – Högkvalitetsvall till mjölkkor och lågkvalitetsvall till biogas.

Energy balance – biogas on dairy farm. High quality forage to milk cows and low quality forage to biogas digester.

Mårten Svensson

Handledare: Ingrid Strid, SLU, Institutionen för energi och teknik  
Carina Gunnarsson, Institutet för jordbruks- och miljöteknik  
Examinator: Per-Anders Hansson, SLU, Institutionen för energi och teknik

EX0416, Examensarbete i teknologi, 30 hp, Avancerad D

Examensarbete (Institutionen energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2010:04

Uppsala 2010

Nyckelord: Gårdsbaserad biogas, energianvändning, energibalans, mjölkproduktion, högkvalitetsvall, vall



Examensarbete *Masters thesis*

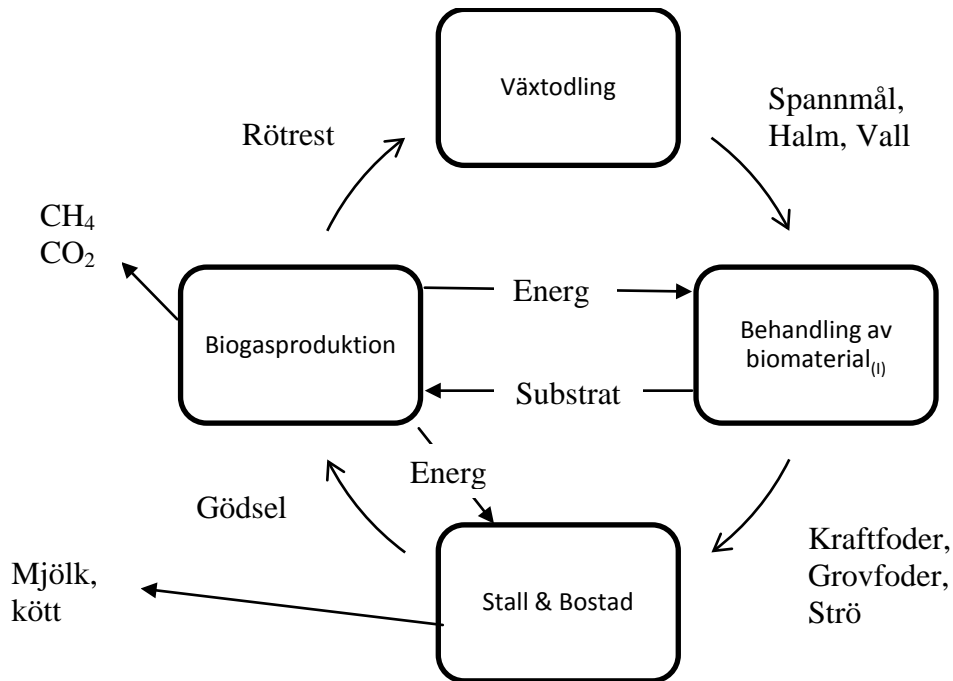
## Energibalans för biogas på mjölkgård – högkvalitetsvall till mjölkcor och lågkvalitetsvall till biogas

*Energy balance - biogas on dairy farm. High quality forage  
to milk cows and low quality forage to biogas digester.*

Mårten Svensson

## SAMMANFATTNING

Den studerade hypotetiska gården ligger i Uppland och producerar mjölk med en besättning på 240 kor och lika många djur av alla åldrar i rekryteringsbas, se figur 1 för en schematisk beskrivning. Grovfoder och spannmål odlas delvis på gården och delvis på mark som erhålls av grannar mot ersättning. Att tilldela korrekta värden på ersättningen är avgörande för ekonomiska beräkningar.



(1): Torkning av spannmål, ensilering av vall, förbehandling av halm, vall och fastgödsel

Figur 1: Schematisk beskrivning av gårdens produktion

Att använda en foderstat bestående av mer grovfoder av högre kvalitet ger ett behov av ca 220 ha åkermark utöver gårdens egna ca 240 ha. Beaktas dessutom lämplig växtföljd behövs 760 ha men ca 300 av dessa ha kommer inte att direkt användas för att odla biomassa till det här systemet varvid skörden på de 300 ha kan säljas.

Den ökade grovfodergivan ger ett stort överskott av biprodukter såsom ensilage, gödsel och halm, närmare bestämt ca 8 ton TS per dag. Dessa biprodukter lämpar sig väl för biogasproduktion. Kraftvärmeproduktion från den utvunna biogasen ger stort överskott av elektricitet och värme.

Det är omöjligt att teoretiskt bestämma exakt hur stort energiöverskottet blir, men överskottet av elektricitet bör enligt beräkningar variera mellan ca 2200 MWh och ca 1650 MWh på årlig basis. Överskottet av värme bör på samma sätt variera mellan ca 3050 MWh och ca 2300 MWh per år.

Elöverskottet kan säljas men för värmeöverskottet finns ingen praktisk tillämpning i dag, däremot ges förslag på framtida användning.

Med tanke på det ökade behovet av areal och det stora energiöverskottet verkar det studerade odlingsystemet lämpligast att införa i ett samarbete mellan gårdar, alternativt på en större gård som redan har tillgång till stor areal. Biogasanläggningen bör ses som en anläggning som skapar möjligheter till utökad verksamhet på gården eller i byn genom att den ger tillgång på energi.



## ABSTRACT

The studied hypothetical farm is placed in Uppland and produces milk with a herd of 240 cows and an equal amount of animals aged 0 to 24 months used to replace older milking cows. Forage and grains used to feed the animals are produced at the farm, both on land that is owned by the farm but also on land that is owned by other farmers but available to use if those farmers are paid. In order to correctly calculate the price to pay for the land it is of great importance to allocate values contributed by the growing of grass to areas that is mostly used to cultivate grains. The cultivating system is showed in figure 2.

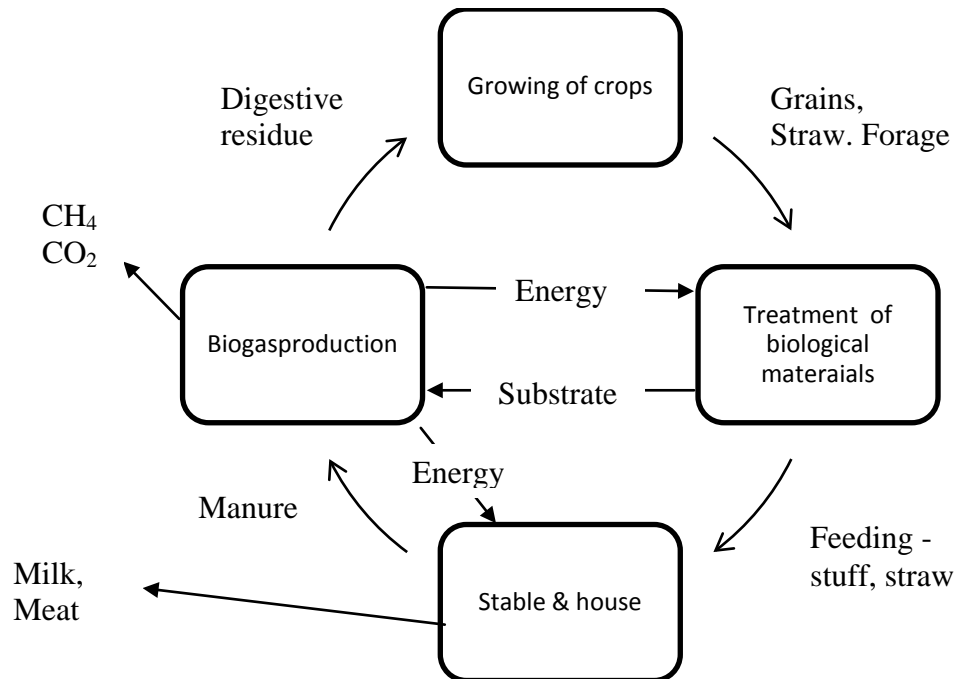


Figure 2: System overview

The usage of a high quality forage requires in addition to the 240 hectares the farm owns an additional area of approximately 220 hectares of cultivated land. When taking the crop rotation into consideration the area needed expands to a total of 760 hectares. About 300 hectares are only part of the system in order to assure suitable crop rotation and will not contribute to the production of milk in this system, hence this land is cultivated as usual and the crops are sold and no there is no need to pay for this land.

The new feeding strategy results in a large surplus of organic materials such as silage, manure and straw in an amount of about 8000 kg dry matter per day. These materials are well suited for anaerobic digestion and biogas production. When used for combined heat and power production they give a large surplus of heat and electricity.

It is impossible to exactly calculate the surplus of energy but the electricity generated is calculated to vary between 2200 and 1650 MWh per year. The available heat varies between 3050 and 2300 MWh per year.

Excess electricity can easily be sold but there is no suitable way to use the excess heat generated from the biogas. In order to get better usage of the heat there is a need to expand the production on the farm.

Considering the increased usage of land and the large excess of energy in the studied system this system is suitable to use in corporation between farms or on big farms. The biogas plant

should be considered an enabler for expansion of the farms production, since there is plenty of energy available.

# INNEHÅLL

<b>FÖRORD</b> .....	<b>7</b>
<b>BAKGRUND</b> .....	<b>7</b>
<b>SYFTE</b> .....	<b>8</b>
AVGRÄNSNINGAR .....	8
<b>MÅL</b> .....	<b>8</b>
SYSTEMBESKRIVNING .....	8
<b>BIOGASPRODUKTION</b> .....	<b>10</b>
INVENTERING AV MATERIAL .....	10
VÄXTODLING .....	11
GÖDSEL .....	14
SUBSTRATSAMMANSTÄLLNING .....	16
BIOGASPROCESSEN .....	17
GASUTBYTE .....	18
BERÄKNINGAR .....	20
INTERNT ENERGIBEHOV .....	22
<b>BIOGAS SOM BRÄNSLE FÖR EL OCH VÄRMEALSTRING</b> .....	<b>25</b>
INTRODUKTION .....	25
VAL AV KRAFTVÄRMEVERK .....	26
ENERGIBEHOV .....	26
ENERGISAMMANSTÄLLNING .....	29
<b>JÄMFÖRELSE MELLAN ENERGIBEHOV OCH ENERGIALSTRING</b> .....	<b>30</b>
KÄNSLIGHETSANALYS .....	32
<b>DISKUSSION</b> .....	<b>33</b>
<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>38</b>



## **FÖRORD**

Jag vill ta det här tillfället i akt och tacka de personer som hjälpt mig med examensarbetet. Alfredo de Toro – studierektor och administrativ problemlösare. Tack för ditt tålamod.

Ingrid Strid – Huvudhandledare på SLU. Tack för all hjälp och för att du ställde upp som handledare. Det hade inte gått utan dig.

Carina Gunnarsson – Handledare på JTI. Tack för allt stöd och alla frågor du besvarat.

Per-Anders Hansson – Examinator. Tack för att du trots ett fullspäckt schema tog dig tid med mig.

Mats Edström – Biogasexpert. Tack för att du delar med dig av kunskap och erfarenhet, både gällande biogas och paddling.

Maya Forsberg – Energichef JTI. Tack för att du fångade upp min förfrågan om examensarbete och hjälpte mig att hitta handledare.

Övriga medarbetare på JTI – Tack för allt stöd, alla vänliga frågor om hur det går för mig, trevligt lunchsällskap, varmt välkomnande och avsked.

Therese – På något magiskt sätt inspirerar du mig. Jag vet inte vad du gör, men det tror jag inte du vet heller. Vad det än är du gör – sluta inte!

## **BAKGRUND**

Jordbruket utvecklas ständigt. Nya tankar tänks och enskilda tankar sätts samman till idéer. Dessa idéer testas och utvärderas. I det här fallet ligger flera grundläggande tankar som bas för en idé som utvärderas. Tankarna kretsar kring energi, djurhållning och växtodling.

- Vallodling är önskvärt även i klassiska spannmålsområden bland annat på grund av dess förfruktsvärde och kvävefixering. Om vallen inte används som foder kan den rötas i en biogasreaktor.
- Stora utgifter för mjölkproduktion är foder och energi.
- Mjölkkornas foderstat kan optimeras till en högre andel grovfoder med bibehållen produktion om grovfodret håller högsta kvalitet.
- Användande av egenproducerad rötrest istället för inköpt mineralgödsel som gödsel- och markförbättringsmedel.
- Ökad lokal foderproduktion kan ge minskat behov av importerad soja.

Idén som växer fram är ett system för mjölkproduktion som baserar sig på omfattande grovfoderanvändning och därmed vallodling samt en gårdsbaserad biogasanläggning för att generera energi och hantera biprodukter såsom vall, gödsel och halm. Foderstaten bygger i större utsträckning än tidigare på egenproducerat foder.

Systemet kommer kräva en större areal än en konventionell mjölkgård och samtidigt producera ett överskott av vall. Även andra organiska substanser finns i överskott, exempelvis gödsel och halm. Alla dessa material lämpar sig för rötning och kan därmed generera elektricitet och värme för att ge ytterligare fördelar till odlingsystemet. Det beskrivna systemet undersöks utförligt i projektet ”Högkvalitetsvall till mjölkproduktion och lågkvalitetsvall till biogas” som görs i samarbete mellan SLU och JTI.

Detta examensarbete kommer undersöka hur mycket energi som potentiellt kan erhållas ur odlingssystemets överskott av biomassa om detta överskott rötas och hur den energi som erhålls kan användas för att ersätta inköpt energi i formerna elektricitet och värme.

Examensarbetet har utförts under vårterminen 2010 vid institutionen för energi och teknik vid SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet, i samarbete med JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik.Handledare på JTI har varit Carina Gunnarsson, forskare inom energi.Handledare på SLU har varit Ingrid Strid, forskare inom lantbrukets teknik och system.Examinator har varit Professor Per-Anders Hansson på institutionen för energi och teknik vid SLU.

## **SYFTE**

Att öka kunskapen om det system som hanteras i projektet ”högkvalitetsvall till mjölkproduktion och lågkvalitetsvall till biogas” genom att producera en energibalans med avseende på energislagen elektricitet och värme samt utföra beräkningar för hur stor areal som krävs för att gården ska förbli självförsörjande på foder.

## **Avgränsningar**

Endast energi av typerna värme och elektricitet kommer att studeras i det här arbetet.

När det gäller växtodling kommer inte lämpliga växtföljder studeras utan ett antagande görs att det finns tillräckligt mycket åkermark tillgänglig hos granngårdar för att varje givet år använda 220 ha av deras åkermark mot ersättning.

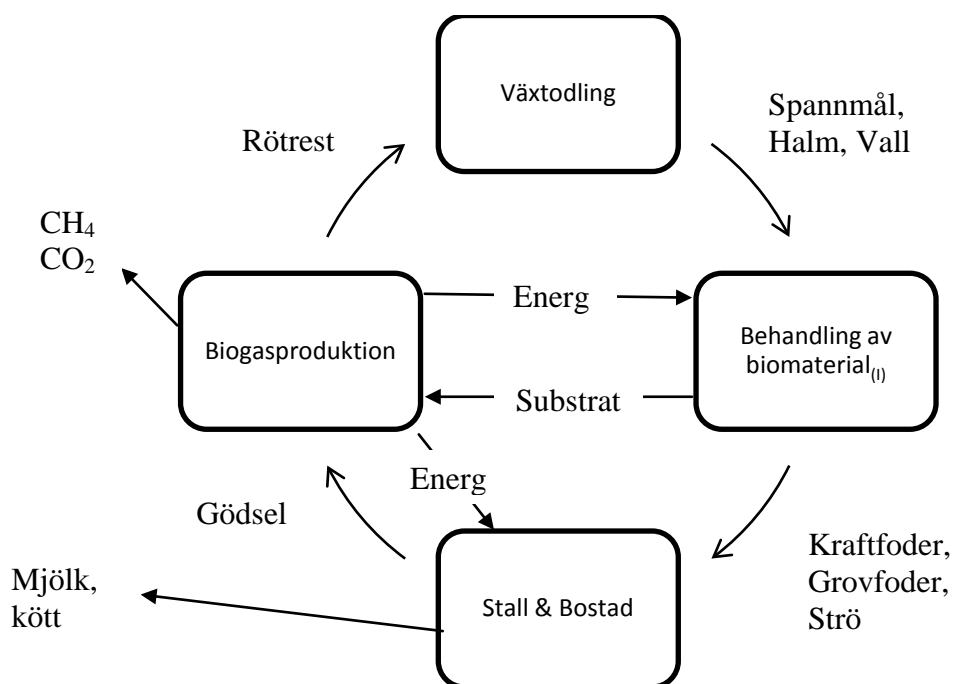
## **MÅL**

Att utifrån förutsättningar givna av studien ”högkvalitetsvall till mjölkproduktion och lågkvalitetsvall till biogas” undersöka

- Storleken på alstringen av energislagen elektricitet och värme samt dess variation över året.
- Storleken på gårdens behov av elektricitet och värme samt dess variation över året.
- Hur väl gårdens behov och alstring av energi stämmer överens.
- Hur odlingssystemet ändras för att tillgodose behovet av växtmaterial för mjölk- och biogasproduktionen.

## **Systembeskrivning**

Figur 3 nedan beskriver systemet.



Figur 3: Schematisk beskrivning av gårdens produktion

(1): Torkning av spannmål, ensilering av vall, förbehandling av halm, vall och fastgödsel

Den gård som studeras delas med forskningsprojektet ”högkvalitetsvall till mjölkproduktion och lågkvalitetsvall till biogas” som i skrivande stund pågår i samarbete mellan Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik och Institutionen för Energi och Teknologi på Sveriges Lantbruksuniversitet. Denna mjölkgård är hypotetisk och besättningen består av 240 mjölkande kor som producerar 9 ton konventionell mjölk per år. Korna går i lösdrift och mjölkas med robot. Rekryteringen är också den på 240 djur. Gårdens placering är förlagd till Uppland.

Det som är unikt jämfört med andra gårdar av den här storleken är foderstaten. Alla foderstater till mjölkkor har en stor andel grovfoder, men i det här fallet är grovfodergivan högre än normalt. För exakt foderstat, se tabell 2. Normalt håller årets första skörd av vall högst kvalitet och därför dimensioneras systemet så att förstaskörden ska täcka mjölkornas foderbehov inklusive lagringsförluster. Resterande djur utfordras med grovfoder från vallåterväxten. Gårdens areal används därmed huvudsakligen till vallodling. Eftersom mjölkande kors grovfodergiva är betydligt större än den för övriga djur blir följden att en större vallareal än normalt måste tas i anspråk. Denna areal antas spannmålsodlande granngårdar utan egen djurhållning bistå med mot ersättning. Hur denna ersättning ska se ut undersöks inte i detta arbete men rimligtvis kan det värde som ges av vallens förfruktvärde och återförande av rötrest stå för en del av ersättningen. Även nytta skapad av biogasanläggningen kan användas som del i kostnads kalkylerna om exempelvis granngårdarnas hus kan värmas av den producerade värmen. Dessa kalkyler är beroende av lokala förutsättningar och kan inte göras för generella fall som i detta fall.

Besättningen behöver även kraftfoder och halm. För detta ändamål har gården en mindre spannmålsodling av korn och höstvetete. Dimensioneringen av spannmålsarealen görs för att täcka foderbehovet, varvid även halmbehovet tillgodoses. Dessutom bidrar halmskörden med ett litet överskott som kan rötas.

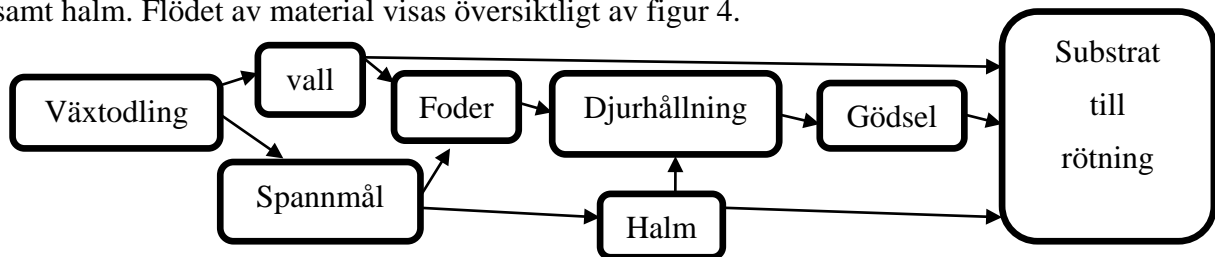
Gårdens produktion genererar restprodukter i form av halm, kasserat grovfoder och gödsel från djuren. Samtliga av dessa restprodukter är lämpade för rötning och metanproduktion. En

biogasanläggning på gården kan hantera överblivet biomaterial och generera energi, som då inte längre i samma utsträckning behöver köpas in. Dessutom kan elektricitet säljas om alstringen överstiger behovet och därmed generera en inkomst.

## BIOGASPRODUKTION

### Inventering av material

det material som ska rötas utgörs av ensilerad vall, animaliegödsel från gårdens nötkreatur samt halm. Flödet av material visas översiktligt av figur 4.



Figur 4: Översiktlig beskrivning av materialflödet från växtodling till rötningssubstrat

Växtodlingen förser gården med ensilage, spannmål och halm. All spannmål används till djurhållningen och detsamma gäller huvuddelen av halmen och vallen. Överbliven eller lagringsskadad vall kan inte användas som foder men däremot som substrat till biogasproduktionen. Halm rötas liksom gödseln från djurhållningen. Gödseln hanteras som flytgödsel för alla djur utom för kalvarna. I gödseln antas även 5 % av djurens foderstat finnas på grund av foderspill.

En väl fungerande växtodling kräver en bra växtföljd. I det här fallet kommer inte en exakt växtföljd bestämmas. Anledningen är att hälften av växtmaterialet som krävs till foder och rötning (se avsnittet "Odling av vall och spannmål" nedan) måste odlas på annan mark än gårdens egna. Det antas att växtodlande granngårdar kan bistå med den nödvändiga arealen mot ersättning. Med tanke på vallens goda egenskaper i en spannmålsväxtföljd antas det vidare att bönderna på granngårdarna kommer vilja att vallen ingår i växtföljderna på hela deras areal för att maximera nyttan med samarbetet – även för åkermark som inte används till odling för foder eller rötning. Växtföljden blir svår att bestämma när flera jordbrukare är involverade.

## Växtodling

För att säkerställa att material till foder finns tillgängligt måste gården ha tillräckligt med areal till sitt förfogande. Eftersom gårdens primära produktion är mjölk dimensioneras all växtodling för att förse korna med foder med antagandet att gården ska vara självförsörjande med avseende på spannmål och vall. Foderbehovet bestäms av djurens foderstat. Tabell 1 visar en traditionell foderstat och figur 2 visar foderstaten med högkvalitetsvall.

Tabell 1: Traditionell foderstat

Foderfraktion	Kalv <sup>I</sup>	Ungdjur <sup>I</sup>	Mjölkkö <sup>II</sup>	Totalt behov
Grovfoder (kg ts)	110	1 980	3 367	1 133 680
Spannmål (kg)	590	400	1 620	500 000
Unik 52 (kg)	255		1 196	307 440
Betfor (kg)			275	66 000

I: Agriwise, II: Wallman et al. 2010

Betfor och Unik 52 måste köpas in till gården medan spannmål och grovfoder odlas.

Tabell 2: Foderstat med högkvalitetsvall

Foderstat bättre vall	Kalv <sup>I</sup>	Ungdjur <sup>I</sup>	Mjölkkö <sup>II</sup>	Totalt behov
Grovfoder (kg TS)	110	1 980	4 500	1 405 600
Spannmål (kg)	590	400	1 007	352 880
Unik 52 (kg)	255		726	194 640

I: Agriwise, II: Wallman et al. 2010.

Om foderstaterna ovan studeras kan det konstateras att grovfoderbehovet ökar men behovet av kraftfoder minskar när foderstaten ändras från en normal foderstat till en foderstat med mer och bättre vall. Värt att minnas är att grovfodret i foderstaterna inte är uppdelat på högkvalitets- och lågkvalitetsfoder och att lakterande kor endast ska utfodras med grovfoder från den vall som skördats vid årets första skörd. Det kommer göra att den areal som krävs för att ge tillräckligt med högkvalitativt grovfoder ökar betydligt mer än vad mängden TS ökar. Hur arealbehovet förhåller sig för de ovanstående alternativen undersöks nedan.

### Odling av vall och spannmål

För de båda nämnda foderstaterna antas gården vara självförsörjande. Som tidigare nämnts kommer det studerade systemet på grund av den ökade grovfoderkvaliteten kräva en större areal jämfört med en mer traditionell mjölkproduktion.

Skördenivåer för vall är för Svealands slättbygder angivet till ca 9200 kg TS/ha, med fördelningen 33 % i första skörden och 67 % i återväxt (Gunnarsson et. al., 2007). Beräkningar av genomsnittligt skörderesultat för spannmål i Uppland åren 2000-2009 (SCB) gav resultatet 5 600 kg höstvetete respektive 4 300 kg korn per hektar. Detta tillsammans med antagandet att lika mängder korn och vete används som kraftfoder ger förutsättningarna för arealbehov för spannmål.

Tabell 3: Arealbehov för normal foderstat

Gröda	Skörd kg/ha	Foderbehov (kg)	Foderareal (ha)
Höstvete	5 592	250 000	45
Korn	4 309	250 000	58
Förstaskörd & Återväxt Vall <sup>1</sup>	9 226	1 247 048	135
Summa			238

1: Skörd inklusive marginal för lagringsförluster

Tabell 4: Arealbehov för foderstat med hög vallkvalitet

Gröda	Skörd kg/ha	Foderbehov (kg)	Foderareal
Höstvete	5 592	176 440	32
Korn	4 309	176 440	41
Förstaskörd Vall <sup>1</sup>	3 109	1 188 000	382
Summa			455

1: Endast förstaskörd – den bestämmer arealbehovet eftersom all högkvalitetsensilage används till mjölkorna. Återväxten har stort överskott som inte används till foder.

Om tabellerna 3 och 4 ovan jämförs är det tydligt att arealbehovet är nästan dubbelt så stort när högkvalitetsvallen används som foder till de lakterande korna. Eftersom endast en tredjedel av vallskörden antas hålla högsta kvalitet blir det avkastningen på vallens första skörd som bestämmer vilken vallareal som krävs. Av den anledningen är vallavkastningen reducerad i tabell 4.

Viktigt att minnas är att ingen areal åtgår för att kompensera de 66 ton betför som behövs i referensfoderstaten. Om gården med användande av referensfoderstaten skulle vara självförsörjande i samma grad som den blir med högkvalitetsvall så skulle dess arealbehov vara högre än 238 ha och den skulle behövt odla sockerbetor, vilket kan passa mindre bra i en Uppländsk växtföljd. Den nya foderstaten med högkvalitetsvall kräver en extra areal på 217 ha. En allokering av areal efter antalet mjölkkor ger ca 1 ha per mjölkande ko i referensfallet och 1,9 ha per mjölkande ko för högkvalitetsfoderstaten. Observera att betesareal inte är beaktad men att den uppgår till maximalt 6 mjölkkor per hektar (jordbruksverket, 2010) vilket ger ett arealbehov av minst 40 hektar. Detta arealbehov är konstant oavsett vilket odlingsystem som används, men det antas inte ingå i odlingsystemet utan vara placerat på jord som inte är lämplig för spannmålsodling.

Antag att växtföljden är sexårig med tre år vall, sedan raps, vete och slutligen korn. Då kommer vall odlas på hälften av arealen och det betyder vidare att den totala arealen som behöver vara tillgänglig för odlingsystemet behöver vara dubbelt så stor som vallarealen, närmare bestämt 764 ha. Observera att 309 ha eller 40 % av dessa 764 ha odlas precis som tidigare med raps, vete och korn för avsalu. Observera också att samtliga de 764 ha kommer att få ta del av de fördelar som finns förknippade med vallodling som del i spannmålsväxtföljden, exempelvis kvävefixering och bättre mullhalt. Dessa extra 309 ha påverkar inte direkt odlingen av de växtmaterial som behövs till mjölkorna och kommer därmed inte beaktas vidare i den här studien.

## Vall

I det undersökta systemet är vallodlingens huvudsyfte att bidra med grovfoder av högsta kvalitet till mjölkorna.

Lagring av grovfodret sker i plansilo, därför kan ett jämt uttag av vall göras för hela året och en kontinuerlig biogasproduktion kan erhållas. Lagringsförlusterna uppgår till 10 % (Pettersson, 2009) och används inte som foder utan rötas.

Vallensilage antas ha en TS-halt på 30-35 % (Pettersson, 2009; Ek, 2007; Edström et al. 2008). För beräkningar i det här arbetet används TS-halten 35 %.

Efter foderstater och djurantal beräknas vallbehovet i ton TS enligt tabell 5 nedan. För avkastnings- och arealberäkningar, se avsnittet ”odling av vall och spannmål”.

Tabell 5: Årligen skördat grovfoder fördelat på användning och skörd

Användning	Första skörd (hög kvalitet)	Återväxt (lägre kvalitet)	Totalt
Foder (ton TS)	1 080 <sup>I</sup>	358 <sup>II</sup>	1 438
Rötning (ton TS)	108 <sup>III</sup>	1 979	2 087
Totalt (ton TS)	1 188	2 337	3 525

*I: Lakterande kor*

*II: Rekrytering*

*III: Lagringskadat ensilage*

Tabell 5 visar hur vallskörden fördelas efter användningsområde, foder och rötning, beroende på vilken kvalitet som skördats.

## Halm

Eftersom spannmål enbart behövs till kornas utfodring antas odlingen av spannmål omfatta endast tillräckligt många hektar för att tillgodose foderbehovet. Lika mängder vete och korn utgör kraftfodergivan. Halmavkastningen är i proportion till avkastning med avseende på kärna enligt nedanstående tabell som listar halmens egenskaper. Omräkningsfaktorn för korn respektive vete är 0,85 och 0,65 (Henriksson et al. 1992) men dessa faktorer baseras på mätningar gjorda under tidigt 1980-tal. Sortförädlingen har bidragit med kortare strå sedan dess vilket bidrar till en mindre mängd halm. Uppskattningsvis bör faktorerna minskas med 0,05 respektive 0,1 för att motsvara dagens situation. Alla maskiner för halmskörd bör finnas på gården sedan tidigare eftersom halmskörd är viktig för djurhållningen. När biogasanläggningen införs i systemet blir förändringen endast att all halm tas om hand. Ca 60 % av halmen används som strö (se avsnittet strö). Denna halm kommer efter sin vistelse i stallet hamna i rötammaren och rötas, som del av gödseln. Dessutom kommer de kvarvarande 40 % eller 30 ton halm som inte behövs till djurhållningen att rötas.

Tabell 6: Egenskaper för halmodling

	Foderbehov		Halmmängd		Halmmängd (ton TS)
	(ton kärna)	Faktor	(ton vv)	TS <sup>1</sup>	
Höstvete	176	0,75	132	0,71	94
Korn	176	0,6	106	0,71	75
Ströbehov			208	0,71	148
Halmöverskott			30	0,71	21

Källa: Carlsson et al. 2009

Tabell 6 ovan visar tillgången på halm och hur den används i systemet. En intressant aspekt av det utvidgade systemet med 764 ha åkermark är att det bildas en hel del halm jämfört med det mindre systemet på 455 ha. Uppskattningsvis ytterligare 600 ton TS kan skördas och rötas om så önskas. Men inga sådana uträkningar kommer göras i den här studien och därmed finns endast 30 ton TS tillgängliga för rötning.

## Gödsel

### Systembeskrivning

Gödselhanteringen är flytgödsel för samtliga djur förutom kalvarna, som hålls på ströbädd och därför genererar fastgödsel. Flytgödselns TS-material antas bestå av träck, urin, strö och foderspill. Fastgödseln antas bestå av träck, strö och foderspill. Förutom nämnda beståndsdelar ingår spillvatten, exempelvis diskvatten från mjölkningsmaskiner i flytgödseln.

Rekryteringen består av samma antal individer som mjölkande kor, 240 djur. Rekryterade djur ska kalva in vid 24 månaders ålder och en åldersfördelning ger då att 80 individer är kalvar på 0-8 månader och 160 individer är ungdjur. Valet av ålderskategorin 0-8 månader beror på att tillgängliga foderstater gjort denna uppdelning, och dessa foderstater ligger till grund för gödselgenerering och därmed även i förlängningen metanproduktion.

### Träck

Träckmängden beräknas genom en funktion baserad på en modell framtagen av Rolf Spörndly och Ingemar Olsson, SLU, Uppsala (Albertsson, 1995). Funktionen baseras på information om organisk substans och dess smältbarhet i olika foderslag, se tabell 7. I kombination med känd foderstat kan djurens generering av träck och urin beräknas.

Funktionen för gödselberäkning ser ut enligt följande

$$A * B * (1 - C) \frac{100}{D * E} = \text{Träck (kg)}$$

Där

A = Kg TS i foder fragmentet, t.ex. 4500 för ensilage till mjölkarna

B = Andel organisk substans i foderfragmentet, t.ex. 0,92 för ensilage

C = Smältbarheten hos foderfragmentet, t.ex. 0,83 för spannmål

D = Organisk substans i träcken, 0,87 eller enligt mätvärde

E = TS-halt i träcken, 0,15 eller mätvärde



Vid upprepade beräkningar för samtliga ingående foderslag, i det här fallet ensilage, spannmål och unik 52, erhålls producerad mängd träck per ko och år.

*Tabell 7: Egenskaper för träckberäkningar*

	Andel org. Substans	Smältbarhetskoefficient i org. Substans
Ensilage	0,92	0,67
Hö	0,92	0,65
Halm	0,93	0,47
Spannmål	0,97	0,83
Koncentrat	0,92	0,84
TS-halt träck	0,15	
org. Subst. Träck	0,87	

### **Urin**

Urinproduktion antas vara hälften av träckproduktionen för ungdjur och mjölkande kor, men förhålla sig 1:1 för kalvarna (Albertsson, 1995).

### **Strö**

Strömängder för fastgödsel respektive flytgödsel förhåller sig enligt tabell 8 (Albertsson, 1995).

*Tabell 8: Strömängder för respektive djurkategori*

	Mjölkkko	Kalv	Ungdjur
Strömängd (kg/djur dag)	1,3	1,9	1,3
Strömängd (kg/djur år)	475	228	475
Strömängd per djurkategori (kg)	113 880	18 240	75 920
Total strömängd samtliga djur (kg)	208 040		

### **Foderspill**

Foderspill som används i gödselberäkningarna behöver också förklaras. I normala foderstater beräknas ett foderspill på 5 % in, och detta foder hamnar direkt i gödseln (Bertilsson, 2010). Eftersom schablonvärden används för att beräkna biogasutvinning per ton TS gödsel och foderspillet bidrar till att öka mängden gödsel måste den beaktas.

Spannmålen och koncentratets TS-halt antas vara 87 % eftersom lagringsduglig spannmål bör ha en vattenhalt < 13 %.

### **Fastgödselns sammansättning:**

Fastgödseln kommer från de yngsta djuren i besättningen och består av träck, strö och foderspill. Urinens vatteninnehåll undantas från fastgödselfraktionen eftersom den antas avdunsta då gödseln ligger i stallet längre tid än flytgödseln. Urinens torrsubstans på 6 % bidrar dock till gödselns totala TS (Djurberg et al., 1989).

Torrsubstansen hos fastgödsel varierar i litteraturen, och definitionen är att fastgödselets TS-halt ska överstiga 20 % (Andersson, 1990). Genomsnittlig TS-halt anges vara 30 % (Carlsson, 2009). Beräkningar utifrån aktuella förutsättningar visar en TS-halt på 28 % för den aktuella besättningen. Tabell 9 nedan visar hur fastgödselet är sammansatt.

Tabell 9: Fastgödselfraktionens egenskaper

	TS %	Ton våt vikt	Ton TS
Foderspill Vall	35 %	0,6	0,4
Foderspill Spannmål + Koncentrat	86 %	3,4	2,9
Halm	71 %	18,2	13,0
Urin	6 %	100,4	5,5
Träck	15 %	100,4	15,1
Totalt	28 %	130,5	36,9

#### **Flytgödselets sammansättning:**

Övriga djurkategorier producerar flytgödsel, med fraktionerna träck, urin, strö, foderspill samt vatten. Vattnet är spillvatten från vattenkoppar och tvättvatten från bland annat mjölkrobot. Flytgödselets TS-halt anges i litteraturen till ca 10 % (Edström et al. 2008; Lehtomäki, 2006). Sammansättningen av flytgödselet visas i tabell 10 nedan.

Tabell 10: Flytgödselfraktionens egenskaper

	TS %	Ton våt vikt	Ton TS
Urin	6 %	1866	103
Halm	71 %	190	135
Träck	15 %	3733	560
Foderspill Vall	35 %	94	70
Foderspill Spannmål + Koncentrat	86 %	9	7
Vatten	0 %	3826	0
Totalt	9 %	9719	875

Utgödsling av flytgödsel antas ske varje timme. En del urin kommer gå förlorat i stallet men det är inga större mängder. Gödselet skrapas ner i en kulvert från vilken den pumpas till förbehandling. Biogasanläggningen kommer kontinuerligt att matas med nytt material. All dagens gödsel kommer inom kort tid hamna i röt-kammaren, varvid inga lagringsförluster antas uppstå.

#### **Substratsammansättning**

Tabell 11 nedan visar materialflödet genom röt-kammaren per år och dag. Observera att vallen står för ca 60% av flödet och vallen står för ca 40%. Ren halm och fastgödsel bidrar väldigt blygsamt - faktum är att lagringsskadad vall bidrar mer än de två fraktionerna tillsammans. För detaljer, se tabell 11.

Tabell 11: Summering av rötningsmaterial

Substrat	Ton	Ton TS	Ton /dag	Ton TS / dag
Flytgödsel	9 719	875	26,6	2,4
Fastgödsel	131	37	0,4	0,1
Halm	30	21	0,1	0,1
Återväxt vall	5 655	1979	15,5	5,4
Lagringsskadad vall	138	108	0,4	0,3
Totalt	15 673	3 020	42,9	8,3

## Biogasprocessen

### *Kort processbeskrivning*

Biogas utvinns som sista steg i en anaerob nerbrytningsprocess driven av olika mikroorganismer. Eftersom det är levande organismer som sköter nerbrytningen är det viktigt att hantera miljön för dessa organismer och göra den optimal för deras ämnesomsättning. Olika mikroorganismer är specialister på olika steg i nerbrytningen och en väl fungerande nerbrytning kräver en hel flora av organismer.

Mikroorganismerna är känsliga för förändringar i miljön och deras aktivitet kan avstanna eller helt upphöra om för stora förändringar uppstår för snabbt. Därför är det viktigt att övervaka nivåer av exempelvis temperatur, pH, halt av fettsyror och ammonium samt slutligen gasproduktionen och dess sammansättning (Jarvis & Schnürer, 2009).

Mikroorganismer kan vara verksamma i ett stort temperaturområde, men eftersom den önskade slutprodukten från biogasprocessen är metangas är det önskvärt att gynna de mikroorganismerna som avger denna eftertraktade gas. Oftast betyder det att reaktorns temperatur bör ha en temperatur på 37°C. Temperaturen i reaktorn bör sedan hållas konstant för att inte störa processen (Jarvis & Schnürer, 2009).

### *Substratbeskrivning*

Det är substratet som utgör mikroorganismernas näring. För att få en fungerande och välproducerande process behöver substratet ha vissa egenskaper.

### *Torrsubstans*

För den processteknik som används i den aktuella studien, det vill säga flytande substrat, totalomrörd och kontinuerlig drift, är den vanligast förekommande TS-halten ca 9 % med ett intervall på 8 – 15 % (Edström et al. 1997; Ek, 2007; Carlsson, 2009). Vid en TS-halt på ca 10 % bildas inte svämtäcke så lätt, och omrörning är inte så problematisk som vid högre TS-halter (Edström et al. 1997).

För att nå en lämplig TS-halt på ungefär 10 % hos det ingående materialet måste vätska tillsättas innan substratet pumpas in i röt-kammaren. För att inte vattenåtgången ska bli väldigt stor kan ett avvattningssteg för rötresten finnas i röttningsanläggningen, varvid en hel del vatten kan återföras till röt-kammaren. Förutom minskad vattenåtgång bidrar ett avvattningssteg även till minskad lagringsvolym för rötresten.

### ***Om samrötning***

Vid försök där olika material har rötats tillsammans har ett högre metanutbyte ibland observerats än när materialen rötas var för sig, se tabell 12 nedan där betblast och potatisavfall har rötats i olika proportioner.

*Tabell 12: Samrötningens positiva effekt på metanutbyte (tabell från Jarvis & Schnürer efter Parawira et.al. 2008).*

Blandning (VS%)		Metanutbyte
Betblad	Potatisavfall	m <sup>3</sup> /kg VS och dag
100	-	2,1
-	100	2,5
33	67	3,9

Anledningen till denna ökning av metanutbytet är att substratet blir mer lämpat till de metanbildande mikroorganismer som bryter ner det. När olika substrat blandas så kan en mer lämpad sammansättning av näringsämnen uppstå och detta kan gynna mikroorganismerna. Emellertid måste det vara substrat som i sig är lämpliga för anaerob nerbrytning, annars kommer substratet inte sannolikt bidra till större metanutbyte.

Det är idag omöjligt att på förhand säga om samrötningseffekter kommer uppstå och i så fall hur stora de blir. Det är inte omöjligt att blandningen av gödsel och vall är mer gynnsam för metanbildande bakterier än gödsel och vall var för sig, med en större produktion av metangas som följd jämfört med den förväntade produktionen hos enbart vall adderat med förväntad produktion av enbart gödsel.

Sannolikt behövs praktiska studier för att visa hur stor samrötningseffekten är hos två eller flera substrat och det vore särskilt lämpligt att veta hur olika blandningar av de olika substraten påverkar metanproduktionen för att säkrare på teoretisk väg bedöma hur stor metanproduktion som kan förväntas ur en viss blandning.

Ingen samrötningseffekt kommer medtagas i biogasberäkningarna i detta arbete eftersom det inte går att teoretiskt avgöra dess magnitud.

### ***Substrattillgång över året***

För att erhålla en kontinuerlig produktion av biogas över året behöver biogasanläggningen tillgång på substrat hela året. Vall och halm är lätta att lagra och utgör inget problem ur den aspekten. Flytgödsel pumpas in i rötammaren flera gånger per dag och behöver därmed inte lagras. Betesperioden på 4 månader kan medföra en minskad tillgång på gödsel, beroende på hur lång tid korna är utomhus. Flytgödsel är emellertid också lättlagrad om det är önskvärt, och gården måste redan ha gödselbrunn som kan användas för det ändamålet. Slutsatsen blir att biogasproduktionen kan vara kontinuerlig över året.

## **Gasutbyte**

### ***Uppehållstid***

Eftersom mikroorganismerna behöver tid på sig för att bryta ner den organiska delen i det ingående materialet så har uppehållstiden stor betydelse för hur mycket biogas som kan utvinnas ur substratet. Uppehållstiden är definierad som den tid i dagar som substratet i

genomsnitt befinner sig i biogasreaktorn. I en kontinuerligt matad biogasprocess kommer en del substrat matas in i reaktorn och en del matas ut varje dag. Då en total omrörning av substratet eftersträvas betyder det att en del av det inmatade substratet kommer föras ut ur reaktorn tidigare än planerat och det är en olycklig konsekvens av den tekniska lösning som används. Dessutom kommer en del av de mikroorganismer som befinner sig i substratet sköljas med rötresten ur reaktorn. För kontinuerligt matade processer anses 7 till 12 dagars uppehållstid vara minimum för att ge mikroorganismerna tillräckligt lång tid att öka sitt antal och vara i balans med uttaget (Ek, 2007; Jarvis & Schnürer, 2009). Uppehållstiden är beroende av vilket substrat som används, där t.ex. potatismos, ett substrat som är väldigt lättnerbrytbart, endast kräver några dagar för att brytas ner totalt medan exempelvis halm kräver uppskattningsvis 100 dagar för att brytas ner helt. Uppehållstid på 50 dagar anses vara längsta lämpliga tid (Christensson et al. 2009). Mer detaljer om hur val av uppehållstid bör göras finns att läsa nedan. Beräkningar för uppehållstider finns redovisade i tabell 17.

Att mäta producerad gas i förhållande till tillsatt substrat kan ses som ett mått på processens effektivitet. Det finns emellertid andra aspekter att ta hänsyn till.

### ***Belastning av rötammare***

Ett annat sätt att mäta produktionens effektivitet är att mäta hur mycket biogas som kan produceras i förhållande till rötammarens volym. Detta nyckeltal kallas belastning, och fokus ligger i det här fallet inte på att maximera gasutbytet per insatt substrat genom att ha långa uppehållstider utan istället är det en intensiv produktion i biogasreaktorn som efterfrågas. Mikroorganismernas nerbrytning går som nämnts ovan snabbt när det gäller de lättnerbrytbara delarna av substratet (exempelvis monosackarider) men mer svårnedbrytbara delar (exempelvis lignin) tar så lång tid att det per tidsenhet kan bli väldigt låg produktion av metan när väl de lättnedbrytbara beståndsdelarna av substratet har brutits ner. En följd av detta blir att om en hög metanutvinning per tidsenhet och reaktorvolym önskas bör inte uppehållstiden vara allt för lång. Enheten på belastning är kg TS/ m<sup>3</sup> substans, och intervallet 1-4 kg TS / m<sup>3</sup> anges vara lämpligt (Christensson et al. 2009).

### ***Val av tid och belastning***

För att få ut så mycket gas som möjligt ur en process bör en så lång uppehållstid som möjligt väljas, men det kommer betyda att biogasreaktorns volym blir väldigt stor och därmed dyrare att anlägga.

En optimering av uppehållstiden bör göras efter ekonomiska förutsättningar, inte efter maximal metanutvinning. Då ekonomiska beräkningar inte ingår i det här arbetet kommer inte en optimering av uppehållstiden att göras, däremot är beräkningar gjorda för hög utrötning respektive hög belastning och finns att beskåda i tabell 17.

### ***Förbehandling av substrat***

Ett lämpligt sätt att minska uppehållstiden i rötammaren är att förbehandla ingående substrat så att mikroorganismerna effektivare kan påbörja nerbrytningen. Ett vanligt sätt är sönderdelning, vilket gör att mikroorganismernas angreppsyta ökar. Det är faktiskt samma sak som kor gör när de idisslar.

Av de fyra substraten som rötas behöver tre sönderdelas och spädas ut med vatten, nämligen vallensilage, halm och fastgödsel. Flytgödseln har redan lämplig konsistens.

Det finns olika sätt att finfördela substratet fysiskt, biologiskt och kemiskt (Lehtomäki, 2006). Vanligaste förekommande metoden är att på fysisk väg, med hack eller kvarn, öka substratets yta. Minskande storlek på substratet ger större utvinning av biogas, men det kräver också mer energi att utföra sönderdelningen. Det finns därmed en gräns för hur mycket substratet bör

finfördelas. Optimal sönderdelning för gräs är 10 mm (Kaparaju et al. 2002). Värt att minnas är samtidigt att ett mer finfördelat material minskar belastningen på omrörningen i röt-kammaren, och därmed dess energiåtgång (Edström et al. 2008). Just vid ca 10 mm längd på materialet är elbehovet för tillfredställande omrörning av en 1MW anläggning ca 1 % av den producerade gasens energiinnehåll (Edström & Nordberg, 1997).

Vid försöket som Edström och Nordberg (1997) utförde rötades ensilage/halm/flytgödsel i proportionerna 70/10/20 medan den studerande anläggningen rötar jämförbara material men i andra proportioner, 68/1/1/30 (ensilage/fastgödsel/halm/flytgödsel). Jämförs systemen med avseende på material som behöver sönderdelas som en del av förbehandling så förhåller sig Edströms substrat som 80/20 medan substratet i det studerade fallet förhåller sig som 70/30.

Med stor sannolikhet betyder det att energikravet för sönderdelning är jämförbara med Edströms och Nordbergs försök, det vill säga 1 % av energiinnehållet i utvunnen biogas.

### ***Efterrötning***

Efter att rötresten har tagits ur biogasreaktorn ska den lagras. I normala fall är substratet inte totalt nedbrutet och en del mikroorganismer följer med materialet när det pumpas ut ur röt-kammaren. Resultatet blir att viss aktivitet fortfarande pågår i rötresten och att biogas fortfarande produceras, så kallad efterrötning. Uppgifter på ett extra gasutbyte på mellan 5 och 32 % anges i litteraturen (Nordberg & Edström ,2008; Borggren, 2007). Oavsett lagringsmetod måste åtgärder sättas in för att säkerställa att ingen gas från efterrötning läcker ut i atmosfären och bidrar till växthuseffekten. Det kan göras genom att bygga ett gastätt tak över lagringsbehållaren eller att anlägga ett svämtäcke. Om efterrötning inte önskas kan miljön för mikroorganismerna som utför nedbrytningen ändras så kraftigt att de helt enkelt dör, t.ex. genom kraftigt förändrad temperatur.

## **Beräkningar**

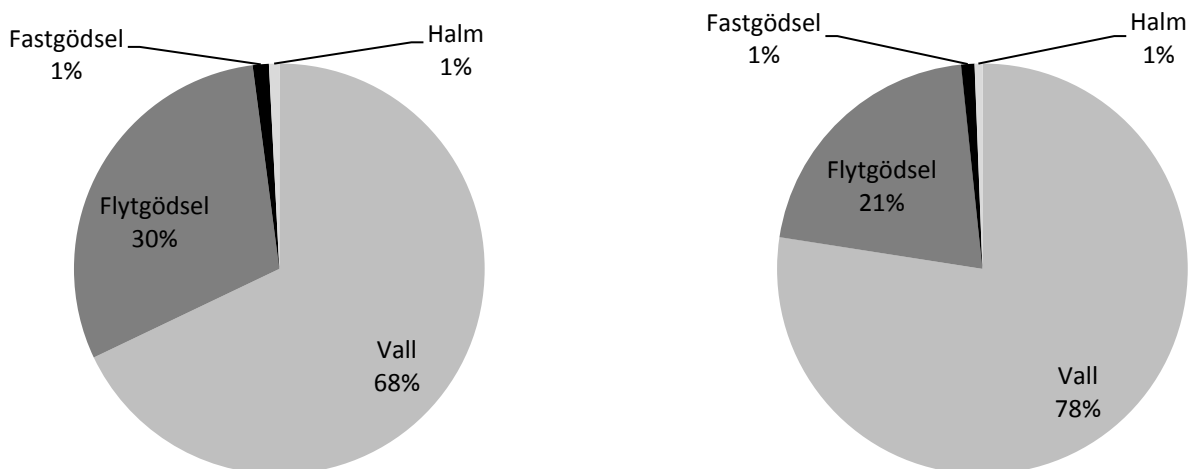
### ***Biogasproduktion***

De material som rötas i den här studien är vall, halm, flytgödsel och fastgödsel. Här redovisas materialens egenskaper och kvantiteter. Metanproduktion per kg TS är hämtade från Substrathandboken (Carlsson et al. 2009). Dessa värden är schablonvärden, men eftersom ingen besättning än så länge är satt på den aktuella foderstaten är det omöjligt att utföra några mätningar på gödselns egenskaper.

För att tydligare visa både absolut metanproduktion och hur de olika fraktionerna förhåller sig till varandra med avseende på ton TS och metanproduktion sammanställs biogasproduktionen i tabell 13 nedan samt figur 5.

Tabell 13: Fraktionernas bidrag till metanproduktion med avseende på massa och metanutvinning.

Fraktion	Massa (ton TS)	Andel Massa	Gasutbyte (Nm <sup>3</sup> /ton TS)	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	Andel CH <sub>4</sub>
Vall	1 979	68 %	263	551 786	78 %
Flytgödsel	875	30 %	170	148 693	21 %
Fastgödsel	37	1 %	200	7 378	1 %
Halm	21	1 %	187	4 004	1 %
Summa	2 912	100 %		711 861	100 %



Figur 5: Fraktionernas bidrag i form av torrsubstans (vänster) och metanproduktion (höger)

Figur 5 ovan visar att vallen står för det största bidraget till biogasproduktionen, med avseende på massa och producerad metan. Fastgödseln bidrar inte speciellt mycket till biogasproduktionen, men per ton TS ger den ett högre metanutbyte än flytgödseln. Flytgödseln är det minst effektiva substratet för metanproduktion per ton substrat, men det finns många anledningar till att röta den. Dels finns det mycket flytgödsel att tillgå och faktum är att 21% av metanproduktionen i det här fallet kommer från gödseln. Om flytgödseln hade lagrats i gödselbrunn istället för att rötas hade en del metan läckt ut i atmosfären och med tanke på att metan är en kraftig växthusgas är det på alla sätt betydligt mer lämpligt att samla upp metangasen och alstra energi än att släppa ut metangasen och bidra till växthuseffekten. Användningen av energin som alstras i biogasanläggningen kan ju minska växthuseffekten om den ersätter användandet av fossila bränslen. Dessutom är flytgödselns vatteninnehåll lämplig att utnyttja i röt-kammaren eftersom substratet i röt-kammaren bör ha en betydligt högre vattenhalt än vad vall, fastgödsel och halm har och det vattnet måste tillsättas på ett eller annat sätt. Blandar man inte flytgödsel behöver inte lika mycket färskvatten användas.

Jämfört med flytgödseln innehåller fastgödseln relativt mer halm, och även om halmen inte är speciellt lättnedbrytbar så har den inte redan passerat genom djuren, vilket ju träck och urin har gjort. Gödsel består ju av redan nerbrutet foder, varvid en del av dess potential för metanproduktion är förbrukad. Halmens direkta bidrag är blygsamt med 1 %, men som tidigare nämnts bidrar halmen delvis till gödselns metanproduktion.

Värmevärdet hos metan är 9,97 kWh/Nm<sup>3</sup> vilket betyder att de 711 861 Nm<sup>3</sup> metan som produceras varje år innehåller 7 097 MWh energi. Observera att denna energimängd är ett teoretiskt maximum och den energi som kan levereras att utföra någon typ av praktisk nytta i form av värme och elektricitet kommer vara betydligt lägre.

### **Internt energibehov**

Biogasanläggningen har ett internt energibehov. Som tidigare beskrivits måste ingående substrat sönderdelas genom att dess snittyta ökas. Dessutom behöver substratet i röt-kammaren kontinuerligt omröras för att inte sedimenteras och för att undvika att svämtäcke blidas. Slutligen måste substratets temperatur vara konstant, vilket betyder att värme måste tillsättas under årets kalla månader.

### ***Uppvärmning***

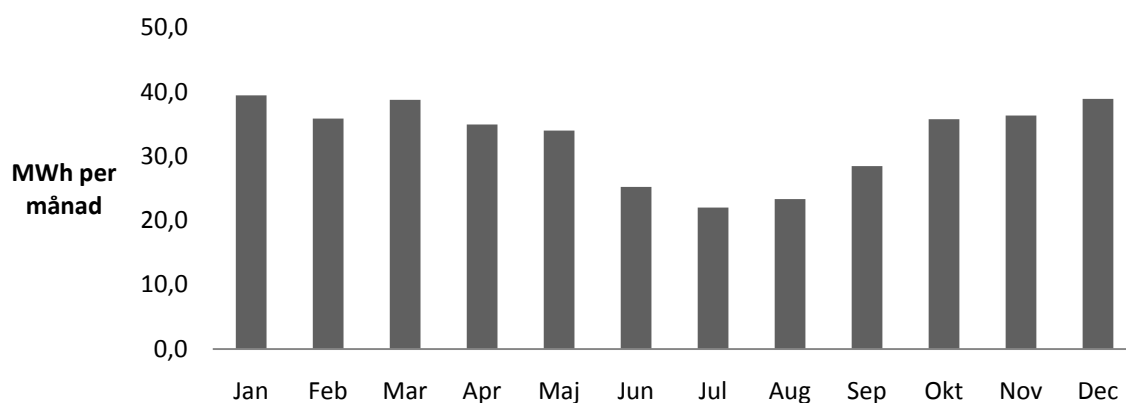
Energien som krävs för att värma ett kilo av ett ämne en grad Celsius kallas för specifik värmekapacitet. För vatten är värdet 4.2 kJ/kg °C och för torr organisk massa görs antagandet att specifika värmekapaciteten är 1 kJ/kg °C. Det grova antagandet motiveras av att vattenhalten för substratet är 91 % och dess fasta del bör inte kräva speciellt mycket energi för uppvärmning jämfört med vattendelen. För varje substrat beräknas uppvärmningsbehovet för både våt och torr del var för sig.

De olika fraktionerna har olika temperatur när de tillsätts i röt-kammaren eftersom de lagras på olika sätt och vid olika temperaturer. Flytgödsel har samma temperatur som lufttemperaturen inne i stallen, eftersom det ju pumpas direkt från stallet till röt-kammaren. Stallens temperatur antas vara minst 12 °C under vintern och 4 °C över medeltemperaturen på sommaren. Ensilage och halm som lagras utomhus har samma temperatur som månadens medeltemperatur. Hur mycket substratet kommer behöva värmas upp varierar därför över året och redovisas i tabell 14.



Tabell 14: Uppvärmningsbehovet över året för de olika fraktionerna

Fraktion	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Flytgödsel (MWh/mån)	22	20	22	22	22	16	14	14	18	22	22	22	236,5
Fastgödsel (MWh/mån)	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	2,7
Ensilage (MWh/mån)	17	15	16	13	11	9	8	9	10	13	14	16	16,9
Halm (MWh/mån)	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5
<b>Totalt (MWh)</b>	<b>39</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>28</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>393,1</b>



Figur 6: Internt värmebehov fördelat månadsvis

Studeras tabell 14 är det tydligt att flytgödsel och ensilage kräver mest energi i form av uppvärmning. Intressant är att halmen och fastgödseln, som bidrar med ungefär samma massa, har så olika uppvärmningsbehov. Det beror på fastgödselns högre andel vatten. Figur 6 visar uppvärmningsbehovet över året.

### **Omrörning och sönderdelning**

Se avsnittet "Förbehandling av substrat" för mer utförlig beskrivning. Både omrörning och sönderdelning av substratet kräver var och en 1 % av energin i den utvunna gasen. Totalt utvinns ca 7 000 MWh energi och därmed är det totala energibehovet för omrörning och sönderdelning ca 140 MWh, se tabell 15. Detta energibehov är relaterat till inkommande material och antas vara konstant fördelat över året. Tabell 16 visar mängden energi tillgänglig efter biogasanläggningens interna energibehov.

Tabell 15: Biogasprocessens interna energibehov

Internt energibehov per år	
Uppvärmning (MWh)	393
Sönderdelning (MWh)	71
Omrörning (MWh)	71
Totalt (MWh)	535

Tabell 16: Energiframställning efter avdrag av internt energibehov

Energiframställning per år	
Bruttoenergi (MWh)	7 097
Internt energibehov (MWh)	535
Nettoenergi (MWh)	6 562

### Uppehållstid

Eftersom strategi för uppehållstids- och organiskt belastningsoptimum bestäms utifrån ekonomiska aspekter kommer här endast extremvärden redovisas. Med utgångspunkt i formeln i avsnittet Träck har beräkningar utförts för att visa på röt-kammarvolym, uppehållstid och organisk belastning för två fall, nämligen när den organiska belastningen är 1 respektive 4 kg TS/ m<sup>3</sup> substans, vilket motsvarar en hög utrötning respektive en hög organisk belastning.

Tabell 17: Exempel på möjliga uppehållstider beroende på utrötningstrategi

Utrötningstrategi	Rötkammarvolym (m <sup>3</sup> )	Uppehållstid (dygn)	Org. Belastning (kg TS / m <sup>3</sup> substans)
Hög belastning	2000	28	4
Hög utrötning	8000	112	1

Beakta att rötkammarvolymen ökar med fyra gånger om en hög utrötning önskas jämfört med en hög organisk belastning enligt tabell 17. Förmodligen betyder det inte att kostnaden att bygga en biogasanläggning också skulle fyrdubblas om den höga utrötningen väljs framför en hög organisk belastning, men självklart är det dyrare att bygga en fyra gånger så stor rötkammare. Vilken utrötningstrategi som ska väljas måste avgöras av ekonomiska beräkningar och utförs inte i det här arbetet. Tabell 17 används som exempel på hur anläggningens storlek varierar beroende på val av uppehållstid.

# BIOGAS SOM BRÄNSLE FÖR EL OCH VÄRMEALSTRING

## Introduktion

Biogas består till största delen av koldioxid och metan. Den eftertraktade energin som kan genereras ur biogasen kommer från metangasen. Tre olika användningar av biogas är vanligt förekommande – värme, drivmedel och kraftvärme.

Om gasen eldas och används till uppvärmning bildas endast energislaget värme. Om inte ett mycket stort värmebehov finns och därmed möjlighet att använda hela värmemängden så är detta emellertid ett slöseri med energi.

Energiinnehållet i en m<sup>3</sup> metan motsvarar energiinnehållet i en liter bensen och är därmed betydligt mer skrymmande. Eftersom biogas dessutom även innehåller koldioxid som inte bidrar till förbränningen i ett fordon är det uppenbart att biogasen behöver förädlas för att bli användbar som fordonsgas. Detta kallas uppgradering och är en relativt kostsam process som kräver stora mängder gas för att bli lönsam. Dessutom behövs utrustning för komprimering och tankning av gasen.

Kraftvärmealternativet använder biogasen för att driva en maskin som alstrar el. Kylvattnet eller rökgaserna från maskinen används som värmekälla. Eftersom detta alternativ ger både elektricitet och värme och inte är så kostsamt väljs detta alternativ för fortsatta studier. Det finns flera olika alternativ tillgängliga på marknaden för att generera elektricitet och värme ur den producerade biogasen. De kommer kortfattat att beskrivas nedan, som underlag för val av lämplig teknik för kraftvärmeutvinning.

### *Kolmotorer med intern förbränning*

Förbränningsmotorn är en väl beprövad motor. Den finns i varierande storlekar och typer, exempelvis två- och fyrtakts ottomotor eller dieselmotor. Principiellt är de lika och själva arbetet görs i en cylinder där bränslet förbränns och därmed utvidgas varvid en kolv pressas iväg och utför arbete, i detta fall att driva en generator.

Kombinationen av att förbränningen sker inne i själva cylindern och att det finns många rörliga delar i en intern förbränningsmotor gör att underhållet är betydande jämfört med de andra lösningarna som presenteras.

### *Gasturbin*

Gasturbinen är enklare i sin uppbyggnad än de andra förbränningsmotorerna då de består av färre rörliga delar. Principen är även här att luft och bränsle förbränns och att avgasernas volym ökar då temperaturen ökar. Här drivs inte en kolv runt, utan själva avgaserna flödar ut ur turbinen och på vägen driver de runt generatoren. Avgaserna är mycket varma, ca 400 - 650°C (Malmberg, 2000). Få rörliga delar gör turbinen mindre underhållskrävande än kolvmotor med intern förbränning.

### *Ångturbin*

Här sker förbränningen i en panna, och värmer upp vatten så ånga bildas. Ångans tryck ökas av värmen och den skapar arbete genom att strömma genom en turbin (Dahlvig, 1998). Förbränningen sker därmed utanför själva turbinen, oftast i en panna som är anpassad efter bränslet.

### *Stirlingmotor*

Stirlingmotorn är en unik kolvmotor med extern förbränning. En värmekälla hettar upp en arbetsgas (ofta vätgas) vars tryck ökar och den utför ett arbete genom att pressa iväg en kolv. Arbetsgasen växlar mellan två cylindrar där den ena värms av den externa förbränningen och

den andra kyls av. Det är gasens uppvärmning och avkylning som får kolvarna att röra på sig och uträtta arbete. (Dahlvig, 1998).

Jämfört med de andra kolvmotorerna är stirlingmotorn dyr i inköp men inte speciellt underhållskrävande. Det dyra inköpet beror på att stirlingmotorn inte produceras i större skala.

Tabell 18: Kraftvärmejämförelse

	Otto/Diesel	Gasturbin	Ångturbin	Stirling
Elverkningsgrad <sup>1</sup>	30-40 %	30-35 %	20-30 %	25 %
Termisk verkningsgrad <sup>1</sup>	40-50 %	50-60 %	50-65 %	65 %
Total verkningsgrad <sup>1</sup>	70-90 %	80-90 %	80-85 %	90 %
Nox (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	250	150		
CO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	1000	100		
Investeringskostnad (kr/kW <sub>el</sub> )	4 000	3 000		18 000

1: Persson & Olsson, 2002. 2: BHKW-Kenndaten, 2005

### Val av kraftvärmeverk

Om tabell 18 ovan betraktas kan det konstateras att de totala verkningsgraderna är relativt jämförbara. Kolvmotor med intern förbränning ger högre elverkningsgrad, men är mer krävande i underhåll. Gasturbinen är något sämre när elgenerering betraktas, men dess höga avgastemperaturer är mycket intressanta eftersom de kan användas till nyttiga ändamål. Exempelvis kan man bygga ett system som driver stirlingmotorer eller en ångturbin med hjälp av rökgaserna.

Eftersom både stirlingmotorn och ångturbinen drivs av extern förbränning är deras egna utsläpp obefintliga, däremot påverkar valet av panna utsläppen.

Gasturbinens lägre utsläpp av kväveoxider och koldioxid gör den mycket intressant om miljöeffekterna beaktas. Detta arbete omfattar emellertid inte ekonomi eller direkt miljöpåverkan, men dessa aspekter är viktiga för vilket val som faktiskt skulle göras när anläggningen byggs.

De två huvudvalen av kraftvärmeverk står mellan gasturbin och kolvmotor med intern förbränning, på grund av deras högre elverkningsgrad. Deras egenskaper när det gäller elverkningsgrad och termisk verkningsgrad är tämligen jämförbara och därför kommer detta arbete fortsättningsvis helt enkelt anta att det finns ett kraftvärmeverk med egenskaperna 35 % elverkningsgrad och 50 % termisk verkningsgrad, oavsett om det är en gasturbin eller en kolvmotor. Kolvmotorn kan ge något högre elverkningsgrad, men kombinationen av gasturbin och ångturbin eller stirlingmotor bör ge ännu högre elverkningsgrad men samtidigt en högre investeringskostnad.

### Energibehov

Gårdens energibehov kommer studeras med avseende på el- och värmeanvändning eftersom dessa två energityper genereras i biogasverket på gården. Dessa energislag används i stall, i bostaden och spannmålstorcken. Nedan redovisas energibehovet för dessa områden.

## Stall

Kortfattat ser djurhållningen ut som följer:

- Besättningsstorlek: 240 mjölkande kor och lika många individer i rekrytering.
- Produktionen uppgår till 9000 kg ECM per ko och år.
- Lösdrift och robotmjölkning.
- Isolerat stall med naturlig ventilation förutom för ungnöten, där ventilationen är mekanisk.
- Flytgödsel för samtliga djur förutom kalvar, vilka hålls på ströbädd.

Tabell 19: Stallets energibehov

	Energislag	Energi (kWh/ko, år)	Energi för besättningen (MWh / år)	Andel
Utfodring	Fossil	370	89	30 %
Ventilation	El	74	18	6 %
Utgödsling	El	31	7	2 %
Belysning	El	224	54	18 %
Mjölkning				32 %
Varmvatten	Värme	53	13	4 %
Kylning	El	138	33	11 %
Mjölkning	El	215	52	17 %
Övrigt	El	145	35	12 %
Total el		827	199	66 %
Total värme		53	13	4 %
Total fossil		370	89	30 %
<b>Totalt</b>		<b>1250</b>	<b>300</b>	<b>100 %</b>

(Efter Hörndahl, 2007)

Som tabell 19 ovan visar är elförbrukningen 66 % av stallets energibehov, värmen uppgår till blygsamma 4 % och fossilt bränsle används till 30 % av energin. Källan angav data för ett fall med 220 mjölkkor, vilket skalades om till att representera 240 mjölkkor i tabellen ovan.

Det fossila bränslet används till utfodringen, och kommer inte ersättas av energi utvunnen från biogas om inte eldrivna fordon kan ersätta dieseldrivna fordon. Det är tekniskt möjligt att rena biogasen för att använda den som fordonsbränsle men det är orimligt komplext och dyrt för en så pass liten anläggning som i det här fallet.

Värme från gasmotorn antas ge tillräckligt hög effekt för att ge varmvattnet till stallet önskvärd temperatur. Detta gäller speciellt om gasturbin används som kraftvärmekälla.

## Bostad

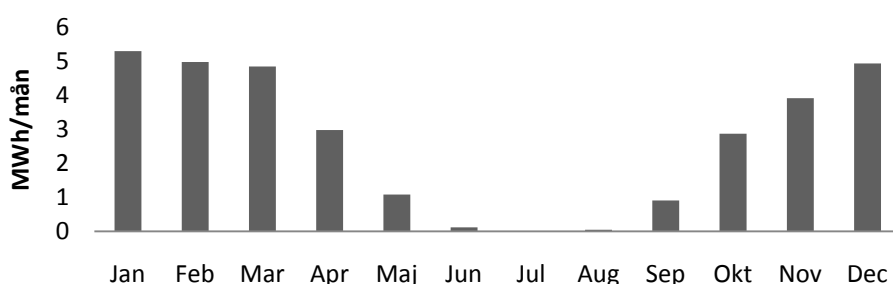
I bostadshuset används energi för uppvärmning av huset, uppvärmning av varmvatten samt elektricitet för hushållsbehov. Vanligtvis är uppdelningen gjord så att uppvärmning och varmvatten redovisas tillsammans, och hushållselen för sig. Problemet är att uppvärmningen

kommer variera över året, medan varmvattenbehovet antas vara konstant. Därför måste de skiljas åt i denna studie. Data från energimyndighetens rapport energianvändning i småhus (2008) kan inte användas för att erhålla uppdelningen av energianvändningen på det sätt som behövs för studien. Däremot kan detta göras med data erhållet genom att använda energimyndighetens online-energikalkylator. Delar av rapporten "energianvändning i småhus" har använts för att kontrollera rimligheten i online-kalkylatorn med resultatet att online-kalkylatorn verkar ge tillförlitliga uppgifter.

### *Uppvärmning*

Gårdens bostadshus antas ha 200m<sup>2</sup> boyta och vara byggt 1940 eller tidigare samt vara uppvärmt av olja. Energiverkets energikalkyl visar för motsvarande scenario ett energibehov för uppvärmning på 32 MWh.

Värmebehovet är störst på vintern, vilket visas i figur 7 nedan.



*Figur 7: Boningshusets behov av värme fördelat över året*

Fördelningen av värmebehovet har gjorts enligt metoden graddagar (SMHI, graddagar). Kortfattat går metoden ut på att per dag beräkna skillnaden i grader mellan dagens medeltemperatur och +17 grader, förutom om medeltemperaturen är högre än vissa värden under sommarmånaderna då solstrålningen antas stå för uppvärmningen. Medeltemperaturer och graddagar har i detta arbete räknats ut från väderdata från SMHI gällande Uppsala (SMHI, klimatdata). När graddagarna är ackumulerade månadsvis fördelas bostadens totala uppvärmningsbehov därefter. Anledningen till att beräkna skillnaden upp till +17 grader är att det antas att resterande grader till behaglig rumstemperatur ges av hushållsapparater som kyl och frys samt personer och sällskapsdjur i hushållet.

### *Varmvatten*

Uppskattningsvis används 5 MWh energi till uppvärmning av tappvarmvatten i boningshuset (energimyndigheten, online energikalkylator). Behovet av varmvatten antas vara jämt fördelat över året.

### *Elektricitet*

Energimyndighetens energikalkylator anger att scenariot kräver ca 7 MWh elektricitet om året. Energibehovet antas vara jämt fördelat över året även om vintern kan kräva motorvärmare och att fler glödlampor är tända under en längre tid.

### *Spannmålstork*

Spannmålsodlingen används enbart med syftet att producera foder till gårdens nötkreatur. Med foderstaten mer och bättre vall behövs ca 360 ton spannmål, jämnt fördelat mellan korn och höstvet. Genomsnittlig vattenhalt antas vara 19 % vid tröskning, och 14 % vid inlagring (Hushållningssällskapet, sortförsök 2009). För att sänka vattenhalten används varmluftstork, med energibehov enligt tabell 20 nedan.

Tabell 20: Energibehov för spannmålstork

	Värme <sup>I</sup>	El	Totalt
Spannmål (kWh/ton) <sup>II</sup>	110	19	129
Fördelning	85 %	15 %	
Årsbehov (MWh)	38,9	6,6	45,5

<sup>I</sup>Värmen genereras genom att elda olja vars värmevärde sätts till 9,8 kWh/l (Dahlvig, G. 1998).

<sup>II</sup> (Edström et.al. 2005)

Energien ovan används under månaderna september och oktober, i direkt samband med skörd. Eftersom elektricitet är lätt att transportera är elbehovet för torken lätt att tillgodose från biogasgenererad el. Värmen är svårare att få utnyttjande för, eftersom den är svårare att transportera. Det är endast två månader som torken används, men då används å andra sidan mycket värme. För att utnyttja värmen från kraftvärmeverket i så stor utsträckning som möjligt bör den användas till spannmålstorken. Torken antas vidare vara placerad i anslutning till biogasanläggningen. Tillgängliga tekniker för att utnyttja värmen är exempelvis att använda värmväxlare för att förvärma torkluften, så att torkens panna inte behöver belastas så hårt. Ett annat alternativ är att byta till en torkpanna som använder biogas som bränsle. Då finns nackdelen att kraftvärmemotorn inte används under den tiden med resultatet att ingen el genereras. Rimligtvis är förvärmning av torkluften att föredra.

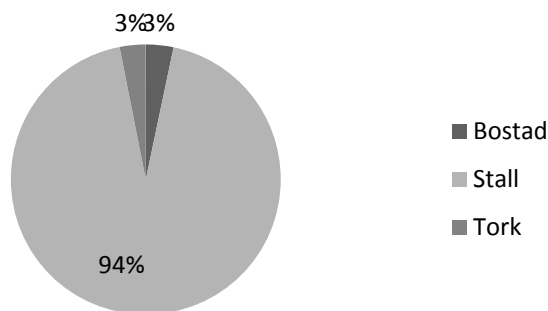
## Energisammanställning

Hur energibehovet ser ut sammantaget redovisas nedan.

### Elektricitet

Tabell 21: Totalt behov av elektricitet per år

	Energi (MWh/år)	Andel
Bostad	7 000	3 %
Stall	198 533	94 %
Tork	6 634	3 %
Totalt	212 167	100 %



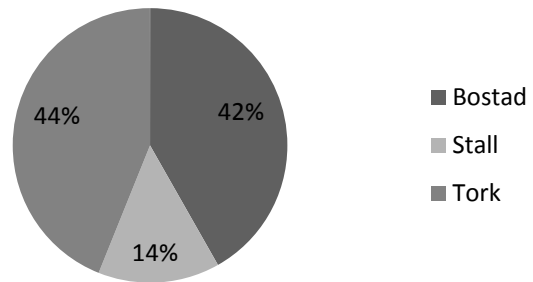
Figur 8: Totalt behov av elektricitet

Det är tydligt att stallet har det största behovet av elektricitet, vilket både tabell 21 och figur 8 visar.

## Värme

Tabell 22: Totalt värmebehov per år

	Energi (MWh/år)	Andel
Bostad	37000	42 %
Stall	12 667	14 %
Tork	38 879	44 %
Totalt	88 546	100 %



Figur 9: Totalt behov av värme

Om tabell 22 och figur 9 studeras konstateras att värmebehovet är relativt jämt fördelat mellan bostad och tork. Dock används torken endast en kort tid per år, medan bostaden används kontinuerligt. Ekonomin kommer avgöra om det är intressant att använda värmen till förvärmning av torkluften eller inte.

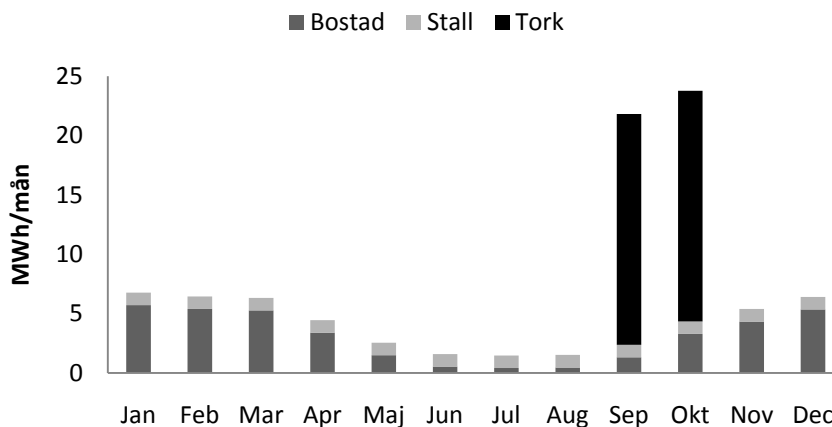
## JÄMFÖRELSE MELLAN ENERGIBEHOV OCH ENERGIALSTRING

Metanproduktionen är beräknad och gårdens energibehov likaså. Tabell 23 visar den årliga energibalansen.

Tabell 23: Årlig energibalans med avseende på elektricitet och värme

	Elektricitet	Värme
Bruttoenergi (MWh)	2484	3548
Biogasanläggningens interna behov (MWh)	142	393
Behov för boningshus, tork och stall (MWh)	212	89
Överskott (MWh)	2130	3066

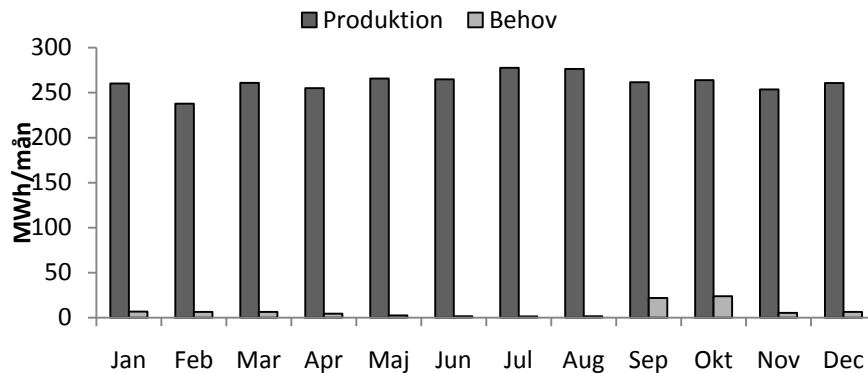
Biogasproduktionen är kontinuerlig medan energibehovet är ojämnt fördelat över året. Nedan följer figurer som visar hur energibehovet varierar över året.



Figur 10 Energibehovet med avseende på värme

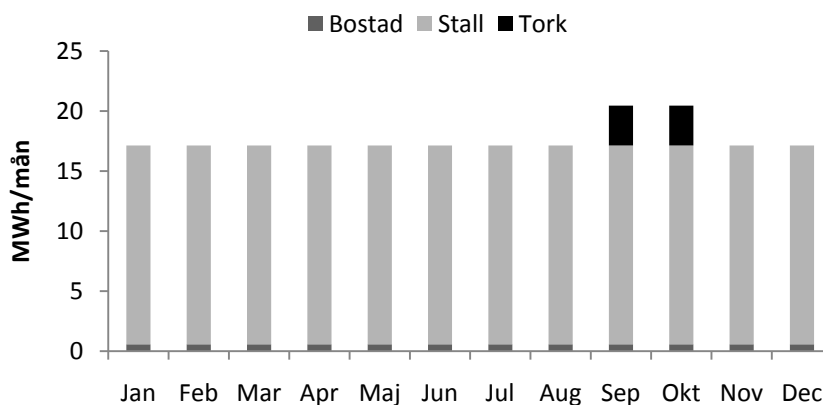


Värmebehovet är störst när spannmålen ska torkas i september och oktober, vilket tydliggörs av figur 10. I realiteten kanske spannmål endast torkas i september, eftersom det trots allt är en mindre mängd spannmål som odlas.



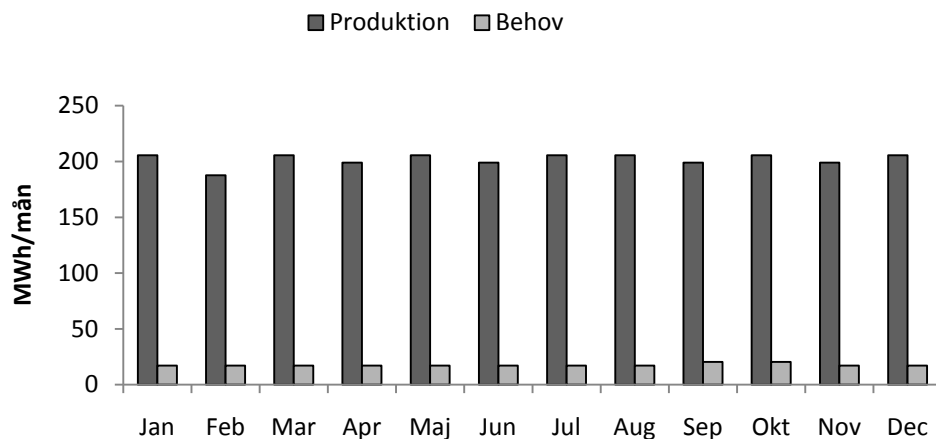
Figur 11: Förhållande mellan produktion och behov med avseende på värme

Figur 11 ovan visar att värmeproduktionen är betydligt större än behovet. Som nämndes ovan är kanske detta behov egentligen avgränsat till en månad, september. Men eftersom det finns ett stort överskott av värme kommer tillgången på värme ändå inte vara begränsande.



Figur 12: Energiförbehovet med avseende på elektricitet

Gårdens elbehov är starkt relaterat till gårdens mjölkproduktion, vilket framgår av figur 12.



Figur 13: Förhållandet mellan produktion och behov med avseende på elektricitet

Figur 13 ovan visar att produktionen överstiger behovet av elektricitet vilket betyder att gården blir självförsörjande på el och dessutom har goda möjligheter att sälja elektricitet.

## Känslighetsanalys

### Substrategenskaper

De substrat som i den aktuella rötningsprocessen ger mest metan är gödsel och vall. Generella egenskaper hos dessa substrat är välkända och väl beskrivna i litteraturen, men variationer finns naturligtvis. Gödselns sammansättning beror på vilken foderstat som används, strömängd och foderspill samt hur gödseln hanteras i stallet. Vallens egenskaper är beroende av hur den odlas, skördas och lagras. Det är därför problematiskt att teoretiskt bestämma i detalj hur substraten kommer prestera som rötningsmaterial.

### Processegenskaper

Miljön i biogasreaktorn måste skötas väl för att mikroorganismerna ska ha möjlighet att hålla en hög aktivitet och därmed biogasproduktion. Detta är också en källa till osäkerhet. Uppehållstiden har stor betydelse för biogasutvinningen, men de data som ligger till grund för beräkningar av gasutbytet är baserade på försök med totala utrötningar, det vill säga försök som har fått rötas till dess att ingen biogas längre genereras. Det är i praktiken inte optimalt att skapa en process som strävar efter full utrötning eftersom det kräver stora och därmed dyra anläggningar.

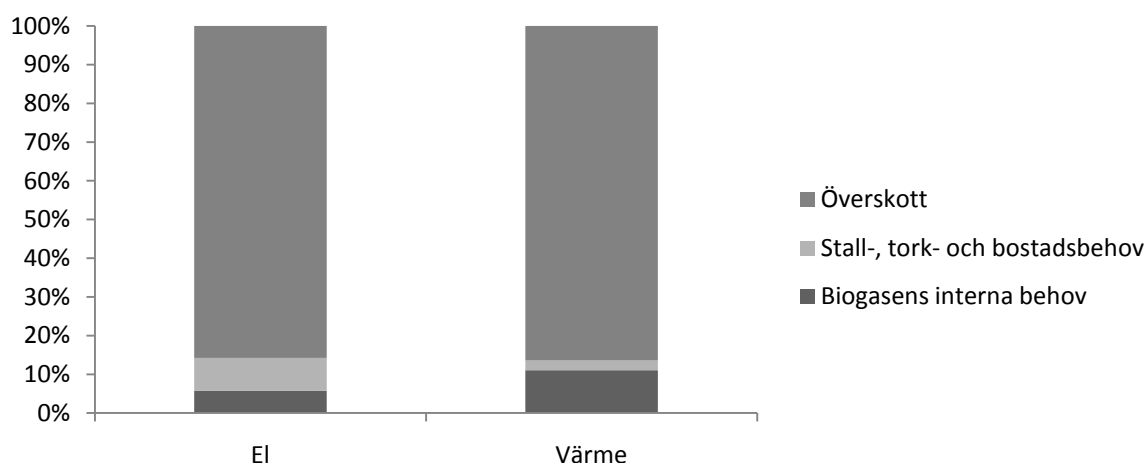
Samrötningseffektens storlek är inte känd för de ingående materialen, och endast mätningar på de aktuella substraten kan avslöja dess omfattning, något som inte ingår i den här studien.

Med andra ord, kombinationen av osäkerhet i materialens sammansättning och mikroorganismernas beteende gör att beräkningarna för biogasproduktionen ska ses som riktlinjer och inte som exakta resultat. Avvikelser på 10 – 20 % är normala i dessa sammanhang (Brown 2010; Edström, 2010).

När värden för produktionen är justerade ser energibalansen ut enligt tabell 24 nedan. Figur 14 visar förhållandet mellan användande och alstrande av energi.

Tabell 24: Energibalans efter justering av produktionen

Sammanställning			Elektricitet	Värme
	Elektricitet	Värme	- 20 %	- 20 %
Bruttoenergi (MWh)	2484	3548	1 987	2 838
Biogasens interna behov (MWh)	142	393	114	393
Stall-, tork- och bostadsbehov (MWh)	212	89	212	89
Överskott (MWh)	2130	3066	1 661	2 356



Figur 14: Systemets energibehov respektive överskott

### Förluster

Värmeförflyttning från biogasanläggningen till boningshus och tork sker med varmvatten i kulvert. Inga värmeförluster har beräknats i studien eftersom det finns så stora mängder överskottsvärme.

## DISKUSSION

Som redan konstaterats produceras ett överskott av el och värme. Elen kan med lätthet säljas men det är svårare att hitta vettig användning för värmen. När det gäller värmen är det endast en liten del som används men detta är ingenting unikt för kraftvärmeproduktion från biogas. Sveriges kärnkraftverk avger exempelvis mycket värme direkt till havet, utan någon direkt nytta för människan. Det här arbetet fokuserar på energin som genereras i biogasanläggningen och inte ekonomiska aspekter, därför följer nedan kortfattade exempel på verksamheter som kan utnyttja överskottet av värme och elektricitet.

- Använd eldriven utfodring istället för dieseldriven, vilket ger mindre energiåtgång totalt på grund av elmotorns högre verkningsgrad, men ger samtidigt ett högre elbehov. Ett högre elbehov är inget stort problem eftersom det finns ett överskott av egenframställd elektricitet. Dessutom är elanvändningen miljövänligare än dieselanvändning.

- Använd tornsilos istället för plansilos för lagring av ensilage – för större elanvändning och mindre fossilt bränsle. Med större grovfoderandel och lagringsbehov för fast rötrest kommer ändå mer lagringsvolym behöva byggas på gården.
- Med antagandet att all spannmål för den ursprungliga foderstaten tidigare odlats och lagrats på gården i kombination med det mindre spannmålsbehovet på gården för den nya foderstaten får som följd att det bör finnas kapacitet för att lagra en del spannmål från grannarnas spannmålsodling. Dessutom kan torken användas billigare än grannarnas tork på grund av möjligheten till förvärmning av torkluften.
- För att använda mer av den producerade värmen kan värmedriven mjölkkyllning vara en högst intressant idé som sänker elbehovet och samtidigt höjer användbarheten av den biogasgenererade värmen. Det finns tillgänglig teknik på marknaden men det är i skrivande stund dyrt att köpa och installera ett sådant system på grund av att tekniken inte vanligtvis används för ändamålet att just ge kyla till mjölkkanläggningar.
- Gör hö eller hösilage av en del av återväxten och sälj det som hästfoder.

Ovanstående alternativ kan göras på gården utan allt för mycket samarbete med grannar, men med tanke på hur mycket värme som finns tillgängligt borde det gå att genom samarbete få bättre utnyttjande. Nu är målet inte längre att bara stärka den primära produktionen som är mjölk, utan att starta upp andra verksamheter. Vilka alternativ som är mest attraktiva beror på lokala förutsättningar som tillgång på råvaror, intresse, marknad och arbetskraft. När ett samarbete inleds blir anläggningens driftsäkerhet viktigare men till skillnad från exempelvis vind- och solkraft kan biogasproduktionen vara kontinuerlig. På landsbygden kan även andra verksamheter på granngårdar eventuellt bidra med mer rötningmaterial såsom gödsel och halm. Biogasen kan då få en central roll för områdets verksamhet.

- Leverera närvärme till omkringliggande gårdar, om avstånden tillåter. Även om stora värmeförluster skulle förekomma så finns ett stort överflöde av värme att tillgå.
- Torka halm eller flis till pellets som eldningsbränsle för avsalu eller användning för fastigheter i närheten dit inte närvärme dras.
- Gör pellets av ensilage och spannmål och sälj som hästfoder.
- Samarbeta med närliggande fjäderfä- eller grisproducenter och värma deras stall med överskottsvärme samtidigt som deras gödsel kan rötas och ge ännu mer biogas. Alternativt utvidga gårdens verksamhet med ett svininstall och köp grannens spannmål otorkat som foder.
- Om turism är en tilltalande idé kan exempelvis ett spa med pool anläggas. Kanske bed & breakfast med gårdsproducerad mat och turridningar samt uppvärmt ridhus.
- Bygg växthus och värm det med överskottsvärmen. Speciellt bra kan detta system bli om kraftvärmen drivs av en gasturbin, eftersom den höga halten CO<sub>2</sub> i rökgaserna kan ledas in i växthuset för att ytterligare öka växternas tillväxt. Dock bör inte rökgaserna ledas in i växthuset vid tider då människor vistas i växthuset på grund av att rökgaserna kan innehålla gaser som är olämpliga att andas in.
- Bygg ett gårdsmejeri och använd värmen till exempelvis ostproduktion.

Den spännande slutsatsen är att införandet av biogasanläggningen i systemet ger möjlighet till lokal företagsamhet och samarbete inom bygden. Möjlighet finns eventuellt också till en utökning av rötmaterial och därmed ännu större biogasproduktion.

Det finns ytterligare en aspekt som talar för utökat samarbete mellan gårdar i närheten, och det är behovet av extra ca 220 ha åkermark från granngårdar. Att detta samarbete fungerar är avgörande för utan den extra arealen kan inte tillräckliga mängder växtmaterial skördas. Hur ersättningen ska se ut för de jordbrukare som upplåter areal bestäms inte i det här arbetet, men många fördelar som bör kunna tilldelas värde finns, de viktigaste nämns nedan

- I en intensiv spannmålsväxtföljd kan vallen utgöra ett välkommet avbrott från vete, korn och havre för att sänka trycket från sjukdomar, svampar och nematoder.
- En stor del av arealen som odlas hör ju egentligen hemma på växtodlingsgårdar som inte har tillgång till animaliegödsel. Vall med klöverinslag ger kvävefixering och kan därmed sänka behovet av konstgödsel.
- Eftersom näringsämnen är bundna i organiskt material vid vallbrottet höjs mullhalten i marken. Även rötrestens näringsinnehåll och mullgivande egenskaper passar utmärkt på mark som endast utgödslas med konstgödsel.
- Eftersom vallen är treårig görs inte lika jordbearbetning lika ofta som i spannmålsodling, vilket möjligtvis kan sänka dieselförbrukningen. Dessutom gör en ökande mullhalt att jordbearbetning går lättare.
- För spannmålsgården uppstår lägre läglighetskostnader och torkningskostnader eftersom en mindre areal spannmål odlas. Dessutom kan arbetskraften eventuellt samordnas för ännu effektivare skörd.
- Det kan vara möjligt att utnyttja maskiner bättre om flera gårdar samarbetar, men lägre maskinkostnader som följd. Om exempelvis inte spannmålsskörd och vallskörd infaller samtidigt kanske gårdarna klarar sig med ett lägre antal gemensamma traktorer jämfört med om varje gård ska hålla sig med en komplett maskinpark. Mjölkgården kanske inte behöver hålla sig med tröska alls, utan låter växtodlingsgården hantera all spannmålsskörd.
- Möjlighet till specialisering av odlingen finns – så att spannmålsgården kan optimera spannmålsodlingen och mjölkgården kan optimera vallodlingen.

Dessa fördelar kan erhållas om gårdarna samarbetar. Hur stora fördelarna blir måste utredas för att det ska gå att sätta ett ekonomisk värde på dem. Eftersom samarbete är nödvändigt kan också någon eller flera av dessa verksamhetsutvecklingar placeras på en granngård. Grannen kanske är mer intresserad av svinproduktion än växtodling men tidigare inte haft möjligheten att ändra inriktning? Kanske kan gårdarna gå ihop och bygga svinstall och anställa någon som sköter driften av det och därmed inte själva lägga mer arbetstid men ändå bättre utnyttja växtodling och biogas?

Totalt är 238 ton halm tillgängligt på gården. 208 ton av detta krävs till djurhållningen och resterande 30 ton kan betraktas som en rötningsbar biprodukt. Det är emellertid viktigt att komma ihåg att de 208 ton halm som används inom djurhållningen också kommer rötas eftersom denna halm kommer återfinnas i gödseln som rötas. Halm har en viktig funktion för jordens mullhalt och bortförande av all halm ger normalt en utarmning av jorden. I det här fallet återförs rötrest till jorden, varvid mullhalten inte bör sänkas i någon större utsträckning. Om hela systemet beaktas på längre sikt är det tydligt att ett mindre kretslopp skapas på gården, där växtodlingen agerar motor för djurhållning och biogas. Djurhållningen för bort organiskt material från gården, i form av mjölk och kött men även metanläckage i stall. Biogasproduktionen för bort organiskt material främst i form av kolföreningarna metan och koldioxid. Resultatet kan på längre sikt bli mullfattigare åkermark. I referensfallet när mer

foder köptes in i form av betför har detta foder bidragit till gödselproduktion och därmed indirekt till återförande av näring till åkermarken. Eftersom vallodlingen har en kvävefixerande effekt på åkermarken, givet att det är en klöverblandning som odlas, kan den ökade vallarealen ge en ökande mullhalt i slutändan. Inga djupare funderingar på detta har gjorts inom detta arbete men det är en intressant fråga ur hållbarhetssynpunkt och ur växtnäringssynpunkt. Då överskottshalmen bidrar med ca 1 % av metanproduktionen och därmed inte väsentligt bidrar till produktionen kanske den bör lämnas på fältet istället för att rötas. En studie av kolets kretslopp i systemet vore intressant för att se hur mullhalten påverkas på längre sikt.

Valet av kraftvärmeverk har betydelse för elproduktionen. En hög elverkningsgrad bör eftersträvas eftersom värmen inte används fullt ut men elektriciteten kan säljas.

## **SLUTSATSER**

Den sammantagna slutsatsen blir att odlingssystemets förträfflighet beror på hur väl ett samarbete mellan olika gårdar i bygden kan göras. Ju bättre samarbete, desto bättre utfall av en gårdsbaserad biogasanläggning och högkvalitetsfoder till lakterande mjölkkor.

Alla små mervärden som kan erhållas av att odla mer vall och erhålla rötrest som gödsel- och markförbättringsmedel måste lyftas fram och värdesättas. En kraftig ökning av areal behövs för att säkerställa tillgången till grovfoder, och denna areal måste erhållas från granngårdar. För att göra det intressant för granngårdarna att vara med i ett samarbete och låta mjölkgården använda 220 ha mark måste samarbetet vara gynnsamt och väl utvecklat.

Om gården kan använda energin till inkomstbringande verksamhet istället för att sälja den så kan biogasanläggningen göra mer nytta eftersom den billigare energin ger fördelar jämfört med konkurrerande företag. Även här kan samarbete mellan gårdar vara en tilltalande idé för att få arbetskraft att räcka till om ny verksamhet startas.

Eftersom substratet som ska rötas är lagringsdugligt och kapaciteten överstiger behovet kan energialstringen göras kontinuerlig, till skillnad från exempelvis vindkraft. Det gör biogasanläggningen lämplig som energikälla till övrig verksamhet.

För att utöka och fördjupa samarbetet mellan gårdar och för att använda så mycket som möjligt av den alstrade energin bör någon typ av verksamhetsutveckling göras. Utan ekonomiska studier är det svårt att fastställa detta säkert men rimligtvis är det här som den stora vinsten för det studerade systemet ligger – möjligheten till en utökning av produktionen i bygden. Växtodlingen blir en motor som driver djurhållningen och de tillsammans driver biogasproduktionen som driver... ja, vad man nu bestämmer sig för att göra. Det finns många exempel på verksamheter som kan införas i gårdens produktion, och det är nog framför allt intresse och tillgång till arbetskraft som bestämmer vilken riktning som bör väljas.

Att få ekonomin att gå ihop för att utöka arealen med 220 ha utan att mjölkorna producerar mer mjölk kan bli väldigt svårt. Utan extra vinst i ny verksamhet verkar det svårt att räkna hem, eller att det möjligtvis går jämnt ut. Fördelen är tillgång till energi och det är den som måste utnyttjas.

Hur energipriset kommer se ut i framtiden är också en viktig aspekt för lämpligheten hos det här systemet. Ju dyrare elektriciteten blir, desto mer lämpligt är systemet – dels eftersom besparingen blir större jämfört med att köpa elen men också genom att intäkterna från elförsäljningen ökar.



## REFERENSER

- Andersson, Ö. 1990. *Handledning för spridning av stallgödsel*. JTI meddelande 428. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.
- Albertsson, B. och Borgenvall, K. 1995. *Gödselproduktion, lagringsbehov och djurtäthet vid nötkreaturshållning*. Jordbruksverket rapport 1995:10.
- Borggren, C. 2007. *Mätning av metanpotentialen hos slam på Henriksdal och Bromma*. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm
- Carlsson, M. och Uldal, M. 2009. *Substrathandbok för biogasproduktion*. Rapport SGC 200 med medföljande substratlista, Svenskt Gastekniskt Center.
- Christensson, K., Björnsson, L., Dahlgren, S., Eriksson, P., Lantz, M., Lindström, J., Mickelåker, M. och Andersson, H. 2009. *Gårdsbio-gashandbok*, Svenskt Gastekniskt Center.
- Dahlvig, G. 1998. *Energi*. Sjunde upplagan, Falköping.
- Djurberg, L., Ericsson, J. och Steinbeck, S. 1989. *Stallgödsel*. Sveriges Lantbruksuniversitet, konsulentavdelningen mark - växter, 3:e upplagan, Uppsala.
- Edström, M., Jansson, L-E., Lantz, M., Johansson, L-G., Nordberg, U. och Nordberg, Å., 2006. *Gårdsbaserad biogasproduktion*. JTI-rapport 42. Institutet för jordbruk- och miljöteknik, Uppsala
- Edström, M. och Nordström, Å. 1997. *Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor*. JTI-rapport kretslopp & avfall nr 11. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala
- Edström, M., Pettersson, O., Nilsson, L. och Hörndahl, T. 2005, *Jordbrukssektorns energianvändning*. JTI-rapport 342.
- Ek, F. 2007. *Produktion av biogas på gården*. ProAgria Svenska lantbrukssällskapens förbund, Helsingfors.
- Ericsson, A. 2009. *Höstvete*. Sortförsök Hushållningssällskapet Uppland, Uppsala.
- Gunnarsson, C., Spörndly, R., Rosenqvist, H., Sundberg, M. och Hansson, P-A. 2007 *Optimering av maskinsystem för skörd av ensilage med hög kvalitet*. Rapport 2007:06. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och teknik, Uppsala.
- Henriksson, A. och Stridsberg, S. 1992. *Möjligheter att använda halmeldning till energiförsörjningen i södra Sverige*. Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 161, Uppsala.
- Jarvis, Å. och Schnürer, A. 2009. *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport SGC 207, Svenskt Gastekniskt Center.
- Persson, C. och Olsson, J. 2002. *Jämförelse mellan olika kraftvärmeteknologier*. Rapport SGC 128, Malmö Högskola och Svenskt Gastekniskt Center.
- Pettersson, T. 2009. *Alternativa täckningsmetoder för plansilor*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

### Personliga referenser

- Bertilsson Jan. Forskningsledare, Husdjurens utfodring och vård, SLU, 2010-03-17.
- Brown Nils. Forskare, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2010-03-15.
- Edström Mats. Forskare, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2010-03-02.



## Internetreferenser

Carlsson, M. och Uldal, M. 2009. *Substrathandbok för biogasproduktion*. Rapport SGC 200 med medföljande substratlista, Svenskt Gastekniskt Center. <http://www.sgc.se/dokument/SGC200.zip>. Hämtades 2010-02-24.

Energimyndigheten, energikalkylator <http://energikalkylen.energimyndigheten.se>. Användes 2010-03-22.

Jordbruksverket, *Utevistelse och betesgång*.

<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/djur/notkreatur/utevistelseochbetesgang.4.4b00b7db11efe58e66b8000308.html>. Hämtades 2010-06-01.

SCB;

[http://www.scb.se/statistik/BO/BO0801/2004A01/BO0801\\_2004A01\\_BR\\_04\\_BO01SA0401.pdf](http://www.scb.se/statistik/BO/BO0801/2004A01/BO0801_2004A01_BR_04_BO01SA0401.pdf)

SMHI, Graddagar. <http://www.smhi.se/Produkter-och-tjanster/professionella-tjanster/Fastighet/graddagar-1.3478>

SMHI, Klimatdata <http://www.smhi.se/klimatdata>. Hämtades 2010-03-25.

---

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
S-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000

---