

# JTI-rapport

## Kretslopp & Avfall

# 31

# Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik

Mats Edström  
Åke Nordberg  
Anders Ringmar



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

**2005**



# Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik

*Evaluation of an agricultural biogas plant at Hagavik*

Mats Edström  
Åke Nordberg  
Anders Ringmar



# Innehåll

|   |    |
|---|----|
| Förord.....   | 5  |
| Sammanfattning .....  | 7  |
| Summary .....   | 8  |
| Bakgrund.....   | 8  |
| Syfte .....   | 9  |
| Gårdsbeskrivning .....  | 9  |
| Anläggningsbeskrivning .....  | 9  |
| Anläggningen .....  | 9  |
| Förbehandling och blandning av substrat.....                          | 10 |
| Materialtransport, sönderdelning, mätning av flöden och styrning..... | 12 |
| Rötkammare.....   | 14 |
| Rörestlager.....  | 15 |
| Gasanvändning .....   | 15 |
| Investering .....   | 15 |
| Substrat .....  | 16 |
| Dokumentation och mätningar.....                                      | 16 |
| Dokumentation och beräkningar .....                                   | 16 |
| Koldioxid.....  | 17 |
| Metan.....  | 17 |
| pH.....   | 17 |
| Prover på substrat och rötkammarinnehåll.....                         | 17 |
| Effektmätning.....  | 17 |
| Uppstart av process.....  | 17 |
| Ympning.....  | 18 |
| Rötade substrat .....   | 18 |
| Uppföljning av rötningsprocess under uppstart .....                   | 18 |
| Effektmätning under uppstart.....                                     | 20 |
| Biogassubstrat som användes vid eleffektmätning.....                  | 20 |
| Blandningsförhållanden.....   | 21 |
| Effektmätningar .....   | 21 |
| Fortsatt drift efter uppstart (2004) .....                            | 23 |
| Rötningsprocessen.....  | 23 |
| Betblast och hästgödsel (vecka 4-6) .....                             | 23 |

|  |    |
|--|----|
| Vallgröda (vecka 22-40).....                                 | 23 |
| Systemförändringar och drifterfarenheter .....               | 25 |
| Betblast och hästgödsel (vecka 4-6) .....                    | 25 |
| Vallgröda (vecka 22-40).....                                 | 25 |
| Planerade förändringar .....                                 | 26 |
| Konsekvenser vid kontinuerlig drift med full kapacitet ..... | 27 |
| Beräkning av anläggningens elbehov vid drift.....            | 27 |
| Massflödesbalans .....                                       | 29 |
| Beräkning av anläggningens värmebehov vid drift.....         | 31 |
| Energiflöden och metanemissioner .....                       | 31 |
| Kraftvärmeproduktion i Tyskland .....                        | 32 |
| Antaganden för kraftvärmeproduktion vid Hagavik .....        | 32 |
| Emissioner av klimatgaser .....                              | 33 |
| Ekonomisk kalkyl .....                                       | 33 |
| Energipriser .....   | 33 |
| Kostnader för en anläggning .....                            | 34 |
| Diskussion.....  | 35 |
| Litteratur .....   | 36 |
| Internet .....   | 37 |

## Förord

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik har fått i uppdrag att utvärdera en gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik gård i Malmö som uppförts av Krister Andersson. Merparten av driftutvärderingen av gårdsanläggningen genomfördes under andra halvan av år 2003 och belyste huvudsakligen uppstarten av anläggningen. En slutrapport av detta projekt presenterades för Delegationen för Energiförsörjning i Sydsverige (DESS) under december 2003. Slutrapporten utgör basen i denna JTI-rapport men har kompletterats med de drifterfarenheter som erhållits under de tre första kvartalen 2004, då gårdsanläggningen har börjat drivas allt effektivare.

Projektet har genomförts av Mats Edström, Åke Nordberg och Anders Ringmar vid JTI. Projektledare har varit Åke Nordberg. Den löpande driften och avläsning av data vid anläggningen har utförts av Krister Andersson. Vid två olika tillfällen har JTI utfört provinsamlingar och mätkampanjer vid biogasanläggningen.

Ett varmt tack framförs till DESS som har finansierat detta projekt.

Uppsala i januari 2005

*Lennart Nelson*

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik





## Sammanfattning

En nybyggd gårdsbaserad biogasanläggning på 500 m<sup>3</sup> röt-kammarvolym med tillförsel av betblast, vallgröda, hästgödsel och bageriavfall har utvärderats. Dokumentation och utvärdering har skett från juli 2003 fram till september 2004. Under juli till november 2003 utvärderades uppstarten med avseende på biologiska och tekniska funktioner. Vidare mättes energiåtgång för olika nyckelkomponenter (t.ex. omrörare, macerator och skruvpump) som utgjorde underlag för beräkningar på mass- och energiflöden samt ekonomiskt utfall för drift vid full kapacitet. Under 2004 har funktion och erfarenheter från praktisk drift dokumenterats.

Med gradvis ökning av den organiska belastningen har stabila betingelser i processen kunnat upprätthållas.

Anläggningen har under 2004 periodvis varit ur produktion. Under juni till september rötades enbart ensilerad vallgröda och gasproduktionen har kontinuerligt ökat med en allt större tillförsel av vallgröda. Under senare halvan av september har anläggningen dagligen tillförts 2-4 ton vallgröda per dag och gasproduktionen har varit 200-340 m<sup>3</sup>/dag.

Rötning av enbart vallgröda i denna skala är relativt oprövat i Sverige. Vallgröda är ett betydligt fiberrikare material än de substrat som normalt röts (t.ex. flytgödsel och livsmedelsavfall). Detta påverkar påtagligt de reologiska egenskaperna, vilket ställer stora krav på anläggningens omrörare och pumpar liksom hur dessa drivs. Därför har det under driften kontinuerligt pågått en kunskapsuppbyggnad hos anläggningsägaren hur materialen ska hanteras för att erhålla bästa funktion vid anläggningens alla mekaniska komponenter.

Utifrån erfarenheter av driften samt genomförda mätningar har beräkningar för full drift gjorts. Olika komponenters elbehov har uppmätts och anläggningens elbehov vid full drift beräknas motsvara 2-3 % av biogasens energiinnehåll. Värmebehovet motsvarar ca 15 % av biogasens energiinnehåll.

Vid full produktion beräknas anläggningen generera 1300 MWh biogas/år. Vid kraftvärmeproduktion skulle nettoenergiproduktionen, efter att anläggningens interna energibehov räknats bort, bli 919 MWh/år varav 44 % utgörs av elektricitet och resten värme. I detta fall har det antagits att en gasmotor med en verkningsgrad för el på ca 34 % och för värme på ca 55 % installeras.

Investeringen för en komplett biogasanläggning beräknas till drygt 2,6 Mkr. Hittills har ca 2 Mkr investerats, där 0,6 Mkr erhållits som ett investeringsbidrag. Relaterat till utvunnen biogas motsvarar investeringen inklusive bidrag 17,9 Mkr/MW gaseffekt. Ett medelpris på minst 0,40 SEK/kWh nettoproducerad energi behövs för att anläggningen skall kunna redovisa ett ekonomiskt nollresultat.

Biogasanläggningen beräknas kunna reducera CO<sub>2</sub>-emissionerna med 440 ton/år, vid en jämförelse med elproduktion via kolkondenskraftverk och värmeproduktion via olja. Om det statliga investeringsbidraget till anläggningen sätts i relation till minskade CO<sub>2</sub>-emissioner blir kostnaden för denna åtgärd 0,15 kr/kg CO<sub>2</sub> under anläggningens avskrivningstid.

## Summary

Hagavik is an organic farm (municipality of Malmö in Sweden) and the grown crops at the farm are sugar-beet, wheat, triticale and ley crop (for green manure).

The farmer has erected a new farm scale biogas plant with a digester volume of 500 m<sup>3</sup>. The motives for building the plant were to produce biogas for co-generation and digestate for supplying the farm with nutrients. Biogas substrates, harvested at the farm, are ley crop and sugar-beet tops and external substrates are solid manure from horses and organic waste from industrial bakery.

Digestion of fibre-rich substrates as ley crop and straw-rich solid manure at farm scale plants is fairly untested in Sweden. The fibre has a rather big impact on the rheological properties of the substrate mixture and digester slurry and can cause problems with pumping and ineffective stirring. To achieve satisfactory function on the pumps and stirrers the fibre-rich substrates the rheological properties has to be improved. This can be done by 1) mixing the fibre-rich substrates with rather large quantities of liquids which can result in low dry mater content both in substrates an digester slurry 2) reduce the fibre size by mechanical disintegration.

The Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI) has been in charge of the evaluation of the biogas plant. Evaluation of the start-up phase of the plant, regarding the technical and biological function, was accomplished in July – November 2003. During year 2004 focus has been on practical experience running the plant.

The plant electricity demand has been measured. Based on those measurements the calculated electricity demand running the plant with a biogas production at 600 m<sup>3</sup>/d (3,54 MWh/d) corresponds to ca 2-3% of the energy content of the biogas. The calculated heat demand corresponds to 15 % of the biogas. At co-generation (with assumed electrical efficiency of 34% and thermal efficiency of 55%) the net-energy production is 919 MWh/year where 44% will be electricity and the rest heat.

Total investment for the plant is about 2,6 MSEK. The farmer has got a government investment subsidy of 0,6 MSEK. The price of the net-energy production has to be at least 0.40 SEK/kWh in order to balance the costs. This calculation includes the investment subsidy.

## Bakgrund

Biogas består huvudsakligen av metan och koldioxid och bildas då organiskt material bryts ner av mikroorganismer under anaeroba förhållanden (utan närvaro av luft). Den energirika metangasen kan användas för att generera el och värme samt för att driva fordon. Av Sveriges teoretiska biogaspotential på 17 TWh/år återfinns 85 % i lantbrukets biomassor (framför allt från gödsel och halm samt vallgröda). Biogastekniken kan dock ge andra fördelar än att bara generera förnyelsebar energi. I framtiden kan den även utgöra en ”gödsel-fabrik” framför allt för lantbrukare som bedriver ekologisk produktion av spannmål. Genom att röta restprodukter såsom blast och den vallgröda som odlas för grüngödsling kan man få en högre utnyttjandegrad på det fixerade kvävet. Detta resulterar i att gården kan avsätta en mindre areal för grüngödslingsgrödor.

Biogasproduktion kan både ske i storskaliga anläggningar liksom i mindre gårdsbaserad skala. I Sverige har under de senaste åren byggts framför allt storskaliga anläggningar där avfall från olika livsmedelsrelaterade verksamheter, organiskt avfall från hushåll och gödsel samrötas. Biogasen har i många fall använts för att driva fordon. Biogas är ett mycket miljövänligt bränsle och den positiva miljöeffekten blir som störst om dieseldrivna fordon, som körs i statstrafik, ersätts med biogasdrivna.

I Europa, framför allt i Tyskland (ca 2000 anläggningar), men även i Danmark, Schweiz och Österrike är intresset för gårdsbaserade biogasanläggningar stort. Under de senaste åren har man i Tyskland upplevt en ny ”boom” när det gäller uppförande av gårdsanläggningar, där biogasen används för att generera el och värme. Drivkraften till denna expansion har varit en kombination av höga elpriser, investeringsstöd, behov av en effektiv växtnäringshushållning samt att det finns lantbruksanpassade koncept för kostnadseffektiva, driftsäkra anläggningar.

Krister Andersson, ekologisk lantbrukare och ägare av växtodlingsgården Hagavik i Malmö kommun, har i egen regi uppfört en biogasanläggning från en tysk leverantör för att bl.a. röta vallgröda samt betblast. Ett investeringsbidrag för detta har beviljats av DESS. Som ett delprojekt till Krister Anderssons investeringsstöd har JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik utvärderat anläggningen. Eftersom detta är en av de första gårdsanläggningarna i sitt slag som uppförts i Sverige är det viktigt med en uppföljning, dels för att kunna ge råd till Krister Andersson inför fortsatt drift, dels för att kunna sprida kunskap om projektet till andra avnämare.

## Syfte

Syftet med projektet är att utvärdera uppstart och den fortsatta driften av en gårdsbaserad enstegs totalomblandad kontinuerlig röttningsprocess med en reaktorvolym på 500 m<sup>3</sup> avsedd i första hand för blast, vallgröda och hästgödsel.

## Gårdsbeskrivning

Gårdens åkerareal är på 75 ha där det bedrivs ekologisk odling. Gårdens åkerareal används jämnt fördelat till att odla sockerbeter, vårvete, råg och vallgröda (som utgörs dels av en grüngödslingsvall, dels av vitklöverfröodling).

## Anläggningsbeskrivning

### Anläggningen

I bild 1 redovisas en schematisk beskrivning av gårdsanläggningen och dess nyckelkomponenter. Anläggningen har uppförts av Weltec Biopower ([www.Weltec-biopower.de](http://www.Weltec-biopower.de)).

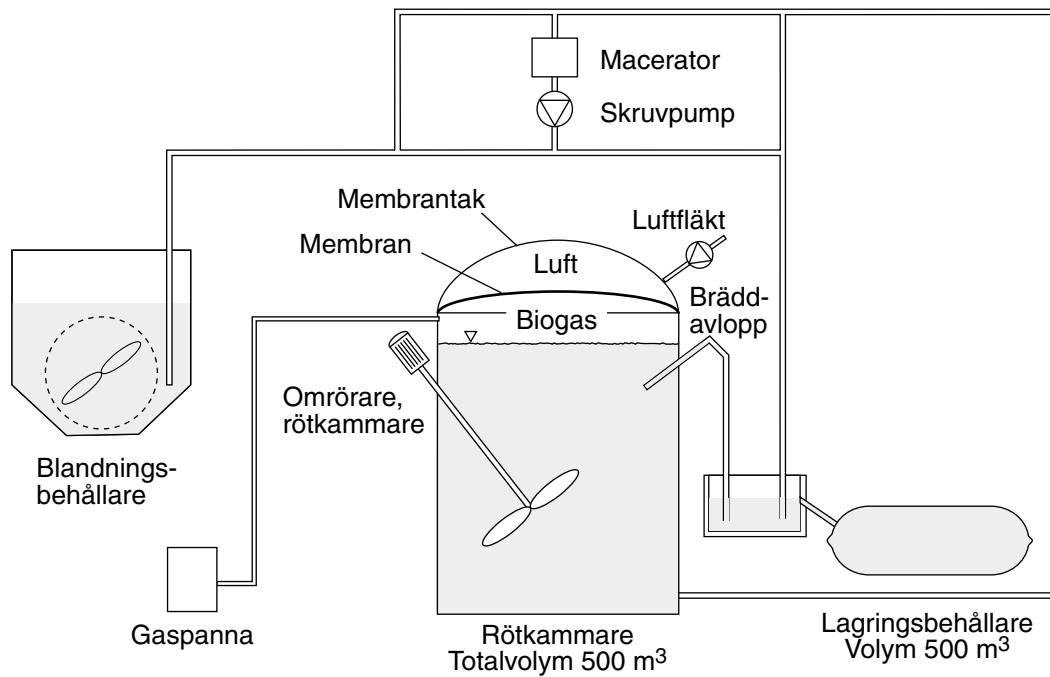


Bild 1. Schematiskt beskrivning av gårdsbiogasanläggningens utformning.  
Illustration: Kim Gutekunst

## Förbehandling och blandning av substrat

Betblast, vallgröda och hästgödsel lastas med frontlastare i en mixervagn (TAARUP) med vågceller, se bild 2.



Bild 2. Lastning av mixervagn med vallgröda. Foto: Åke Nordberg

I vagnen blandas materialet med hjälp av 4 stycken liggande skruvar, se bild 3. De två undre skruvarna har knivar, vilket medför att en grov sönderdelning sker.



*Bild 3. Sönderdelning av vallgröda i mixervagn. Foto: Åke Nordberg*

Materialet lastas sedan ut i en blandningsbehållare i betong på 30 m<sup>3</sup>, vilket även fungerar som ett korttidslager för substrat, se bild 4.



*Bild 4. Avlastning av vallgröda från mixervagn till blandningsbehållare. Foto: Åke Nordberg*

Behållaren har en snabbroterande propelleromrörare (ingen skärande funktion) för att homogenisera de material som tillförs behållaren, se bild 5.

Det är viktigt att den halmrika gödseln är väl uppfuktad för att en homogen blandning skall kunna erhållas. Materialet pumpas via en sugledning till röt-kammaren (lyfthöjden är ca 6 m).



*Bild 5. Blandningsbehållare och dess propelleromrörare. Foto: Mats Edström*

### **Materialtransport, sönderdelning, mätning av flöden och styrning**

Anläggningen har endast en pump (frekvensstyrd excenterskruvpump), som suger materialet från substrattanken genom en s.k. macerator in i pumpen och trycker det vidare till röt-kammaren, se bild 6.



*Bild 6. Anläggningen excenterskruvpump och macerator. Foto: Åke Nordberg*

Maceratorns funktion är att sönderdela materialet och göra det lättare att pumpa, se bild 7.



*Bild 7. Macerator som har öppnats. I bilden syns den skärande kniven och dess hålskiva.  
Foto: Mats Edström*

Anläggningen har ett flertal tryckluftstyrda ventiler varför det i princip går att pumpa material från alla tankar i anläggningen via denna pump till övriga plaster i anläggningen.

Anläggningen styrs av en PLC-enhet som är uppkopplad mot en vanlig PC där indata anges för styrningen. Styrdatoren styr beskicksningsmängd (mängd och antal tillfällen) via ett antal tryckluftsventiler samt tar in en del larmsignaler, t.ex. när det är för lågt undertryck på pumpens sugsida eller för högt övertryck på tryck-

sidan. Vid dessa tillfällen styrs också vattentillförsel till skruvpumpen så att den ej går torr.

Pump och styrsystem har levererats av företaget Weda ([www.Weda.de](http://www.Weda.de)), som huvudsakligen bygger blötfoderanläggningar till slaktsvin. I princip är det samma pump och styrsystem som nyttjas i Weltechs biogasanläggningar som i blötfoderanläggningarna.

## Rötkammare

Rötkammarens totalvolym är 500 m<sup>3</sup> med en slamvolym på ca 450 m<sup>3</sup>, se bild 8. Rötkammarens tak består av ett dubbelmembran. Det yttre membranet består av ett formsvetsat PVC-membran som fästs mot ett elastiskt material på rötkammarens utsida med hjälp av ett spännband. Det yttre membranet hålls uppe genom att luft blåses in mellan det yttre och inre membranet med hjälp av en liten luftfläkt. Det inre membranets uppgift är att dels skapa den syrefria miljön som krävs vid rötning, dels möjliggöra uppsamling av den producerade biogasen. Det finns 3 nivåindikeringar på fyllnadsmängden i biogaslagret.



*Bild 8. Rötkammare på Hagavik gård med tak av ett dubbelmembran. Till höger syns teknikcontainer som innehåller pump, macerator, gaspanna och styrdator. Blandningsbehållaren är placerad centralt framför rötkammaren. Ställningen på vänstra delen av rötkammaren fixerar rötkammarens omrörare. Foto: Mats Edström*

Under uppstarten uppstod ett läckage i innermembranet på grund av att bräddavloppet ej fungerade som det skulle. En hävertteffekt uppstod varvid undertrycket skadade innermembranet. Leverantören har sedermera åtgärdat det felaktiga bräddavloppet och läckaget.



Rötkammaren har en frekvensstyrd, långsamt roterande omrörare som är monterad snett in på sidan av rötkammaren. Omrörarens drift styrs av en dator. Omröraren är så pass kraftig att den kan bryta eventuella svämtäckan som kan uppstå.

Rötkammaren är försedd med bräddavlopp, som mynnar ca 2 meter under slamytan i rötkammaren. Bräddavloppet tillförs kontinuerligt luftpuffar för att undvika stopp i detta. Bräddavloppet mynnar i en liten behållare i betong. Denna behållare står i sin tur i förbindelse med lagret för biogödseln.

### **Rötrestlager**

Rötrestlagret på gårdsbiogasanläggningen i Hagavik består av en helsvetsad s.k. Hardisäck på 500 m<sup>3</sup>, se bild 9. I säcken kan även restgasproduktionen samlas upp. Det är möjligt att pumpa rötrest från Hardisäcken till substrattanken vid blandning av substrat.



*Bild 9. Membranlager för att lagra producerad rötrest. Foto: Åke Nordberg*

### **Gasanvändning**

Anläggningen har under uppstartsskedet en 30 kW panna för att förse anläggningen med processvärme samt en fackla för att bränna eventuell överskottsgas. Pannan går även att driva med olja. När normala driftsförhållanden uppnås kommer investering att ske i ett kraftvärmeaggregat.

### **Investering**

Hittills har ca 2 Mkr investerats i anläggningen.

## Substrat

I tabell 1 redovisas de substratmängder som anläggningen antas röta när full produktion har uppnåtts. Det redovisade innehållet av torrsubstans (ts), organiskt innehåll (VS) samt innehåll av växtnäring N, P och K har beräknats utifrån litteraturdata. Samtliga substrat som används har godkänts av KRAV.

Hästgödseln levereras med lastbil från näraliggande ridhus och lagras i plansilo av betong. Den största delen av hästgödseln som levereras innehåller halm. De gånger som sågspån använts som strömmaterial sprids gödseln direkt på åkern och används således inte till biogasanläggningen.

Betblasten skördas i samband med skörd av sockerbetorna och läggs även den upp i plansilon. Betblasten placeras ovanpå hästgödseln för att den pressvätska som avgår skall sugas upp i den torrare hästgödseln.

Vallgrödan består huvudsakligen av klöver och skördas med slaghack.

Bageriavfallet kommer från tillverkning av skorpor och levereras från Biowheat. Vid leverans tippas bageriavfallet direkt i blandningstanken. Avfallet är mycket lättomsättbart och pH-värdet sjunker snabbt till ca pH 3,2 vid lagring

Tabell 1. Mängder och sammansättning på de olika substraten som används vid anläggningen.

|              | Våtvikt,<br>ton | TS,<br>% våtvikt | VS,<br>% av TS | N *,<br>% av TS | P *,<br>% av TS | K *,<br>% av TS | Metanutbyte**,<br>m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / kg VS |
|--------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Hästgödsel   | 500             | 30               | 84             | 2,6             | 0,5             | 3,0             | 0,20   |
| Betblast     | 450             | 17               | 90             | 2,3             | 0,3             | 3,0             | 0,40   |
| Bageriavfall | 375             | 30               | 98             | 3,7             | 0,2             | 0,4             | 0,40   |
| Vallgröda    | 550             | 25               | 90             | 2,7             | 0,4             | 2,9             | 0,30   |
| Blandning    | 1875            | 25               | 90             | 2,4             | 0,2             | 1,7             | 0,31   |

\* Beräkningar utgående från Steineck m.fl., 2000; Hammar, 2001; Livsmedelstabell, 1993; Johansson m.fl., 1993

\*\* Hansson, 1981; Nordberg & Edström, 1997; Angelidaki & Ellegaard, 2002; Bränslen från jordbruksgrödor, 1983-86

## Dokumentation och mätningar

Processen har följts från mitten av juli 2003 och i denna rapport redovisas mätningar fram till september 2004.

### Dokumentation och beräkningar

För att underlätta dokumentation av uppstarten vid anläggningen utarbetades ett kalkylark (Excel) för kontinuerlig uppföljning och för beräkning av hur mycket material som kan stoppas in. Upplägget på kalkylarket bestod i:

1) En hjälptabell för att räkna fram sammansättningen på substratblandningen när nytt material tillförts blandningstanken och för att beräkna mängden substrat som skall pumpas in till röt-kammaren baserat på ansatt organisk belastning.

2) Ett protokoll (rådata) för dokumentation av datum, tid, pH, temp, CO<sub>2</sub>, volym gas producerad, kg tillfört röt-kammaren, mängder som tillförts substratlagret samt vilka prov som tagits och skickats till JTI för analys.

3) Ett beräkningsark med grafer för de viktigaste nyckelvariablerna gjordes där JTI fört in värden kontinuerligt.

## **Koldioxid**

Koldioxidhalten i biogas bestämdes på ett relativt enkelt sätt genom att använda ett s.k. jäsningsrör (Einhorns fermentations-sackarometer). Principen bygger på att CO<sub>2</sub> snabbt löses i lut (natriumhydroxid; NaOH), medan metan förblir i gasfasen. Andelen koldioxid i gasen kan därefter läsas av på jäsningsröret. En manual för koldioxidanalysen utformades.

## **Metan**

Under utvärderingsperioden har med jämna mellanrum prover för metanalyt tagits. 1 ml gas har injicerats i en gastät flaska och sänts till JTI för analys på gaskromatograf.

## **pH**

En mobil pH-meter för fältbruk har använts för att kunna mäta på olika ställen i anläggningen.

## **Prover på substrat och röt-kammarinnehåll**

Substrat och röt-kammarinnehåll har skickats i provburkar till JTI för analys av torrs substans, organisk substans och organiska syror. Innehållet av ammoniumkväve har analyserats ett fåtal gånger.

## **Effektmätning**

Under en dag genomfördes en mätkampanj vid anläggningen då effektförbrukning på substratlagrets omrörare, excenterskruvpumpen, maceratoren och röt-kammararens omrörare bestämdes vid olika TS-halter på substratblandningen.

## **Uppstart av process**

Det är viktigt att poängtera att de i detta kapitel redovisade data har erhållits från en anläggning som är under uppstart. Under uppstarten sker det en kontinuerlig förändring av röt-kammararens kemiska sammansättning (i detta fall bland annat en ökning av TS-halt och saltinnehåll), belastning och gasproduktion. När kontinuerliga driftförhållanden så småningom nås, kommer processen att stabiliseras med avseende på koncentration av t.ex. TS.

## Ympning

Ympning av reaktorn skedde under april 2003. Rötkammaren har ympats med 13 ton rötrest från försöksrötning av vallgröda i pilotskala. Därtill tillfördes rökammaren ca 50 ton hästgödsel samt vatten tills rökammaren hade fyllts.

## Rötade substrat

Under uppstarten har fyra olika substrat använts; hästgödsel, vallgröda, betblast och bageriavfall. De olika substraten har analyserats med avseende på torrsubstans och organisk substans, se tabell 2.

Tabell 2. Fraktioner som pumpats in i rökammaren efter ympning av rökammaren (juli – november 2003).

|                          | Mängd,<br>ton | Analyserade TS-halter,<br>% av våtvikt | Analyserade VS-halter,<br>% av TS |
|--------------------------|---------------|--|-----------------------------------|
| Bageriavfall             | 28,1          | 19,5                                   | 98                                |
| Hästgödsel               | 4,1           | 17,1                                   | 77                                |
| Betblast                 | 5,7           | 17,7                                   | 63                                |
| Vallgröda                | 18,9          | 16,1-30,2                              | 81-90                             |
| Vatten                   | 7,7           |  |                                   |
| Uttaget rökammarinnehåll | <u>110,8</u>  | 0,5-1,4                                | 53-64                             |
| Summa                    | 175,3         |  |                                   |

## Uppföljning av röttningsprocess under uppstart

Driften av rökammaren styrs och övervakas under försöket genom att relatera utvunnen gas mot tillförd substratmängd, analysera biogasens innehåll av koldioxid, mäta rökammarinnehållets pH-värde samt fermentationsprodukter.

Den tekniska intrimningen av anläggningen gjorde att det dröjde till i början av juli innan rötningstemperaturen 37 °C hade uppnåtts. TS-halten i rökammaren var ca 0,5 %. Processens pH-värde var fortfarande relativt låg (ca 6,6) varför mindre mängder kalk tillfördes och pH-värdet steg till 6,9 den 24 juli. Vid detta datum började processen tillföras substrat. Resultatet blev att biogasproduktionen ökade (bild 10), men rökammarens buffertkapacitet var låg varför pH-värdet sjönk (bild 11) och resulterade i låg biogasproduktion.

Efter upprepade kalkningar av rökammaren erhöles i mitten av augusti en röttningsprocess med högre buffertkapacitet och bättre stabilitet varför rökammarbelastningen kunde höjas. Rökammarens pH-värde sjönk fortfarande efter en beskicking men klarade oftast att återta sitt ursprungliga värde inför nästa beskicking. Vid några tillfällen reducerades rökammarens belastning beroende på lågt pH-värde.

TS-halten på de substrat som har tillförts rökammaren har varierat mellan 3 och 15 %, se bild 12. Tidpunkter då substratet har haft hög TS-halt hänför sig från tillfällena då enbart bageriavfall har rötats. Konsistensen på detta avfall är homogent med partiklar med liten diameter, vilket gör substratet förhållandevis lätt-

flytande och därmed pumpbart i anläggningen trots ”höga” TS-halter. Under perioder då enbart fiberrika substrat som vallgröda, hästgödsel eller betblast har rötats har blandningarnas TS-halt varit lägre. I detta fall blir substratets konsistens trögflytande, vilket gör det svårt att blanda om och pumpa trots en lägre TS-halt. I blandningsbehållaren blandas de fiberrika substraten med rötkammarinnehållet och pumpas därefter in i rötkammaren.

Efter att substrat har börjat tillföras rötkammaren har dess TS-halt ökat och under inledningen av november 2003 var den ca 1,4 % (bild 12).

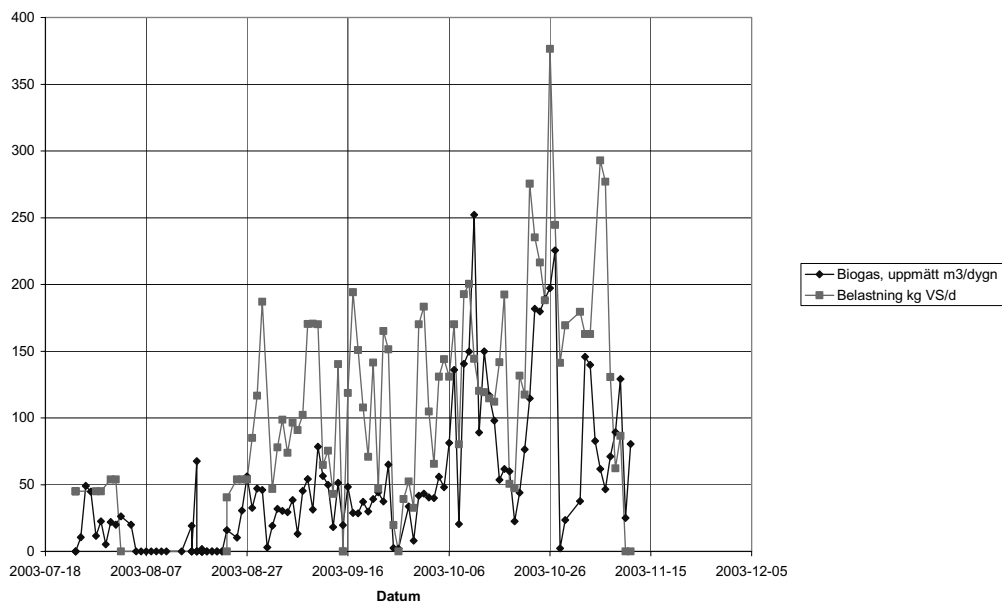


Bild 10. Mängd organiskt material som tillförs rötkammaren samt biogasproduktion.

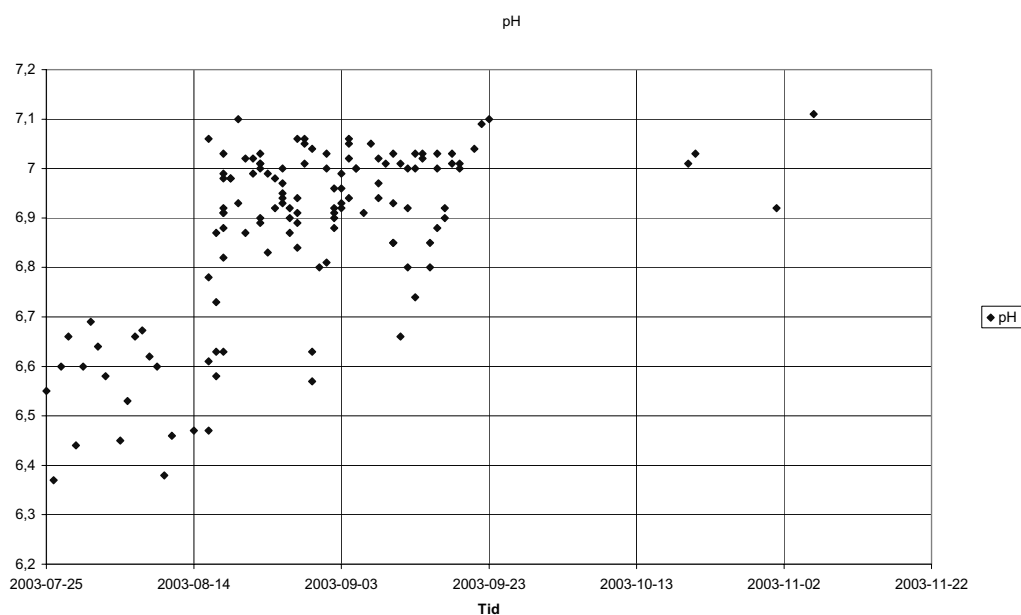


Bild 11. pH-värde i rötkammare.

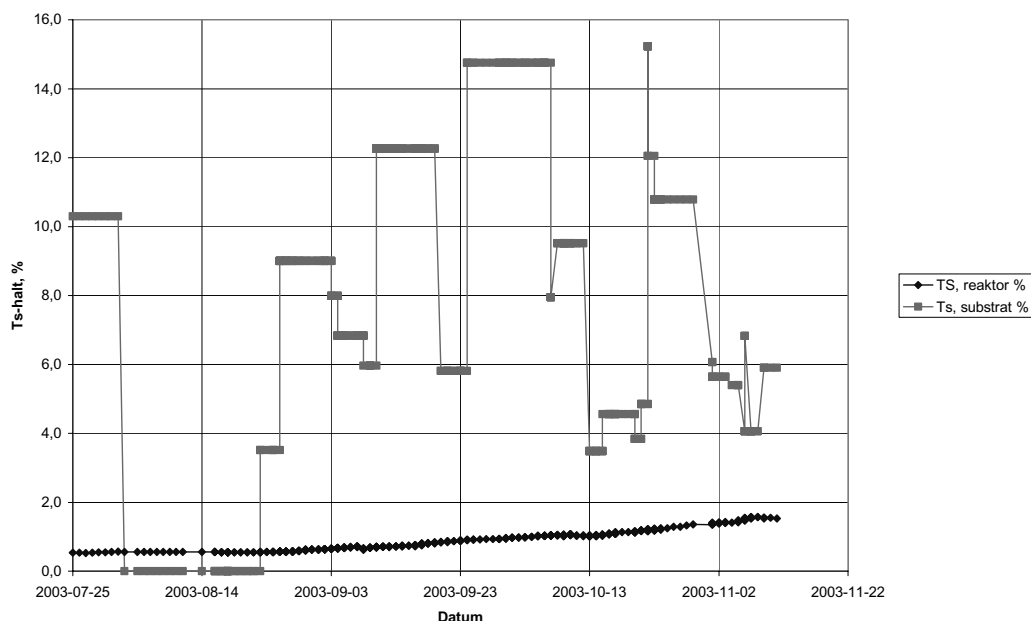


Bild 12. Torrsubstanshalt i röt-kammare och på substrat som ska rötas.

Biogasens innehåll av koldioxid har under oktober och november 2003 varierat mellan 32 och 36 %. Metanhalten har varierat mellan 62 och 68 %. Gasutbytet har under den övervakade uppstartsperioden uppgått till ca 560 m<sup>3</sup>/ton VS.

## Effektmätning under uppstart

En viktig del i utvärderingen har bestått i att beräkna energiåtgång för olika nyckelkomponenter (t.ex. omrörare i substrattank och röt-kammare, macerator och skrupvpump). Dessa beräkningar har sedan nyttjas till grund för beräkningar vid kontinuerliga driften.

## Biogassubstrat som användes vid eleffektmätning

I tabell 3 redovisas TS-halten på de fraktioner som användes under effektmätningen.

Tabell 3. Material som användes för substratblandningarna och deras TS-halt, vid det tillfälle då eleffektbehovet uppmättes för olika maskiner vid gårdsanläggningen.

|                   | TS,<br>% våtvikt |
|-------------------|------------------|
| Hästgödsel        | 17,1             |
| Betblast          | 17,7             |
| Vallgröda         | 16,7             |
| Rötkammarinnehåll | 1,4              |

## Blandningsförhållanden

Effektmätningen genomfördes på flera substratblandningar som finns redovisade i tabell 4.

Tabell 4. Blandningsförhållande baserat på våtvikt, då effektmätning genomfördes.

| Försöksserie       | Benämning | andel av blandning |           |       |        | Ts-halt, blandning, % av våtvikt |
|--------------------|-----------|--------------------|-----------|-------|--------|----------------------------------|
|                    |           | Rötrest            | Vallgröda | Blast | Gödsel |                                  |
| Betblast           | B         | 79,4%              | 0,0%      | 20,6% | 0,0%   | 4,8                              |
| Rötrest            | R         | 98,7%              | 0,0%      | 1,3%  | 0,0%   | 1,6                              |
| Vallgröda I        | V I       | 88,5%              | 10,4%     | 1,2%  | 0,0%   | 3,2                              |
| Vallgröda II       | V II      | 78,2%              | 20,7%     | 1,0%  | 0,0%   | 4,7                              |
| Vallgröda III      | V III     | 72,0%              | 27,0%     | 0,9%  | 0,0%   | 5,7                              |
| Gödsel & vallgröda | G & V     | 64,4%              | 24,1%     | 0,8%  | 10,6%  | 6,9                              |

## Effektmätningar

Det uppmätta elbehovet (kWh/m<sup>3</sup> substrat) för att driva excenterskruvpumpen, som pumpar substrat från blandningsbrunnen genom maceratorn till röt-kammaren, finns redovisat i bild 13. Vid studien varierades substratets sammansättningar och TS-halt enligt tabell 4. För några av blandningarna varierades pumpflödet, via en frekvensomvandlare, för att studera hur pumpens elbehov berodde av flödet. Samtidigt uppmättes även maceratorns elbehov för att reducera partikelstorleken på det substrat som pumpades in i röt-kammaren. Detta elbehov finns redovisat i bild 14.

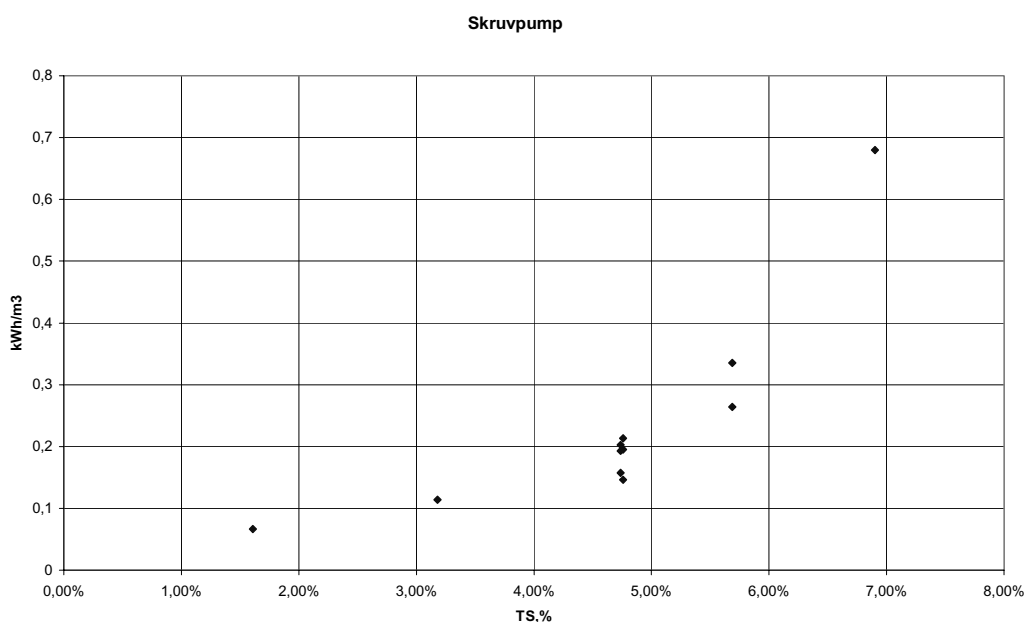
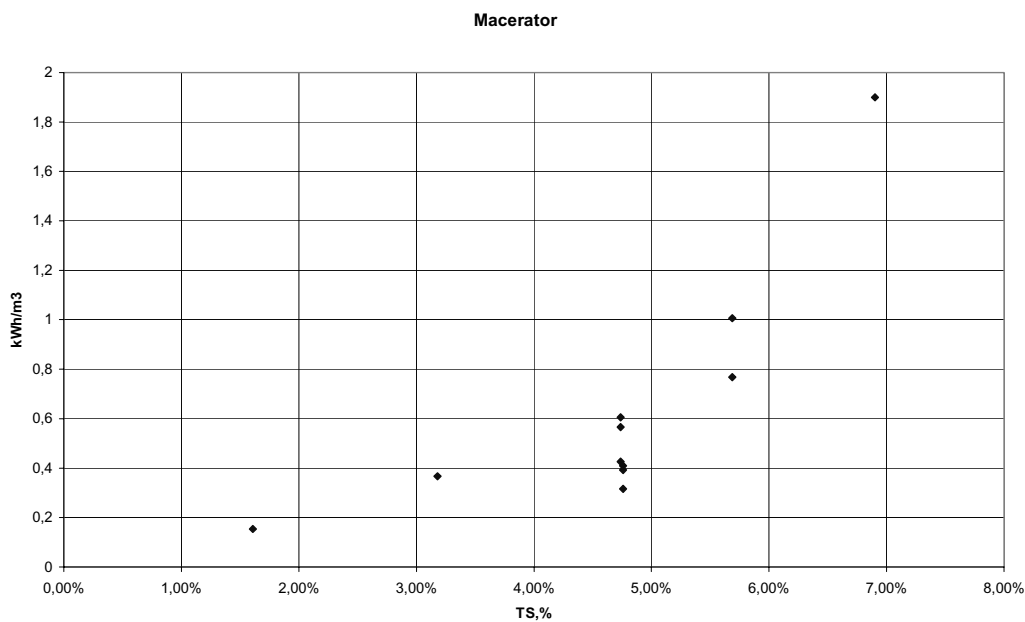
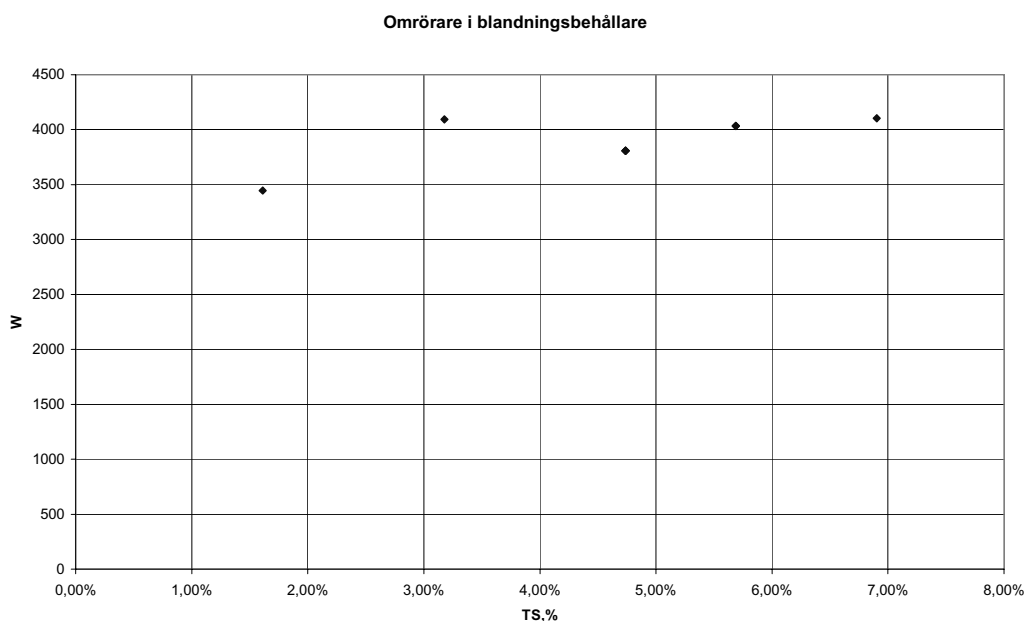


Bild 13. Uppmätt eleffekt för excenterskruvpump vid olika TS-halter på substratblandning.



*Bild 14. Uppmätt eleffekt för macerator vid olika TS-halter på substratblandning. Observera att skalan är en annan än den i bild 13.*

Effektbehovet för omröraren i blandningsbehållaren uppmättes och finns redovisat i bild 15. Även i detta fall varierades substratets sammansättningar och TS-halt enligt tabell 4. För att hålla substratblandningen i blandningsbehållaren homogen, drevs omröraren intermittent. Vidare är omröraren i drift under inpumpning av substrat till rökammaren samt under beredning av nya substratblandningar. Totalt var omröraren i drift under 1,8 h av dygnets 24 h.



*Bild 15. Uppmätt eleffekt för blandningsbehållarens omrörare vid olika TS-halter på substratblandning i behållaren.*



Rötkammarens omrörare är frekvensstyrd och går intermittent. Den var i drift 7h av dygnets 24h. I bild 16 redovisas effektbehovet för omröraren i rötkammaren vid olika mätfrekvenser.

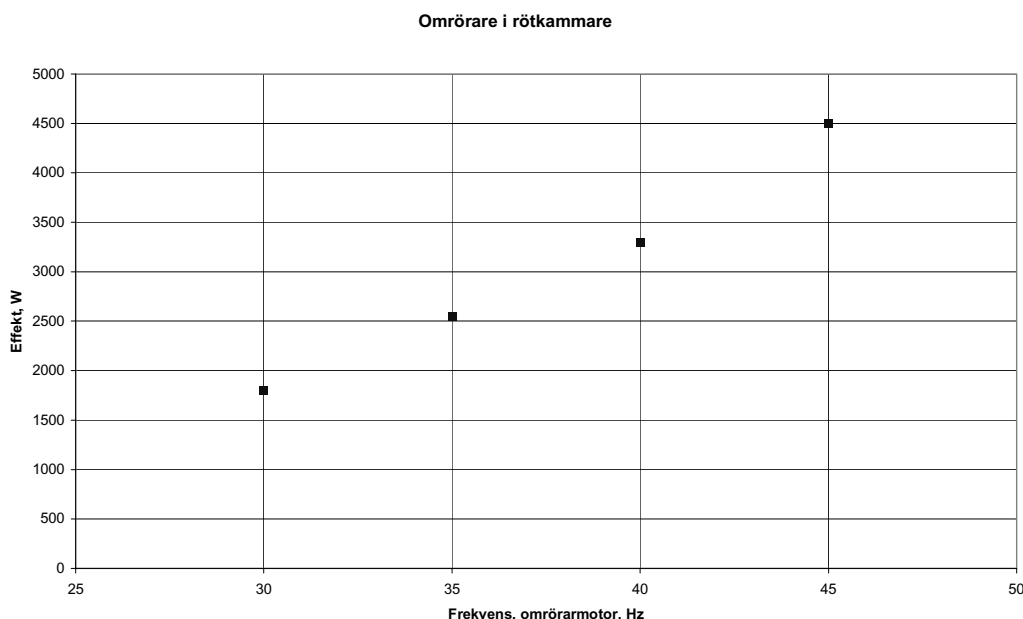


Bild 16. Uppmätt eleffektbehov för rötkammarens omrörare vid olika nätfrekvenser.

## Fortsatt drift efter uppstart (2004)

Anläggningen drevs relativt extensivt under de 5 första månaderna under 2004. Bland annat var den tagen ur drift för att reparera innermembranet på rötkammarens membrantak (se kapitlet ”Rötkammare”). Gaspannan har vidare trimmats in och en brännare har bytts. Under denna period har det även genomförts provrötningar på ett flertal framtida potentiella biogassubstrat.

## Rötningsprocessen

### Betblast och hästgödsel (vecka 4-6)

Under vecka 4-6 tillfördes anläggningen en blandning av ca 30 ton hästgödsel och blast (utgjordes av ca 15 ton av vartdera materialet med en TS-halt på uppskattningsvis 15-20 %), se tabell 5. Under denna period genererades det 900 m<sup>3</sup> biogas. Medelbelastningen under denna period var 0,5 kg VS/m<sup>3</sup> & dag men den varierade mellan 0 och 1,4 kg VS/m<sup>3</sup> & dag.

### Vallgröda (vecka 22-40)

Rötkammaren började åter tillföras substrat under inledningen av juni. Temperaturen i rötkammaren var då ca 30 °C och det dröjde tills mitten av juli innan rötkammartemperaturen åter hade nått 37 °C.

Från och med juni och framåt har enbart ensilerad vallgröda med TS-halt på ca 20 % använts som biogassubstrat. Under veckorna 22-40 har 155 ton vallgröda tillförts rötkammaren (se tabell 5), vilket har resulterat i att rötkammarbelast-

ningen i medel under perioden varit  $0,53 \text{ kg VS/m}^3 \text{ \& dag}$  men den har under denna period varierat mellan 0 och  $1,6 \text{ kg VS/m}^3 \text{ \& dag}$ . Totalt har det under perioden genererats  $15090 \text{ m}^3$  biogas med ett innehåll av metan som i medel har varit 63 %, vilket ger en specifik metanproduktion på  $0,33 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ . Biogasproduktionen har i medel varit drygt  $120 \text{ m}^3/\text{d}$  men har varierat mellan 10 och  $340 \text{ m}^3/\text{d}$ , se bild 17.

TS-halten i röt-kammaren har under perioden varit ca 3 % och processens pH-värde har oftast varierat mellan 7,5-7,6 med undantag för mitten av augusti då den kort sjönk ner till 7,16. Detta låga pH-värde berodde troligtvis på en överbelastning av röt-kammaren, vilket också indikeras av att biogasens metanhalt under denna period sjönk ner till 60 % för att därefter stiga upp till 68 % en vecka senare i samband med en period med lägre röt-kammarbelastning. Röt-kammarens ammoniumkvävehalt har varit ca 1 g/l och totala innehållet av kväve ca 2 g/l.

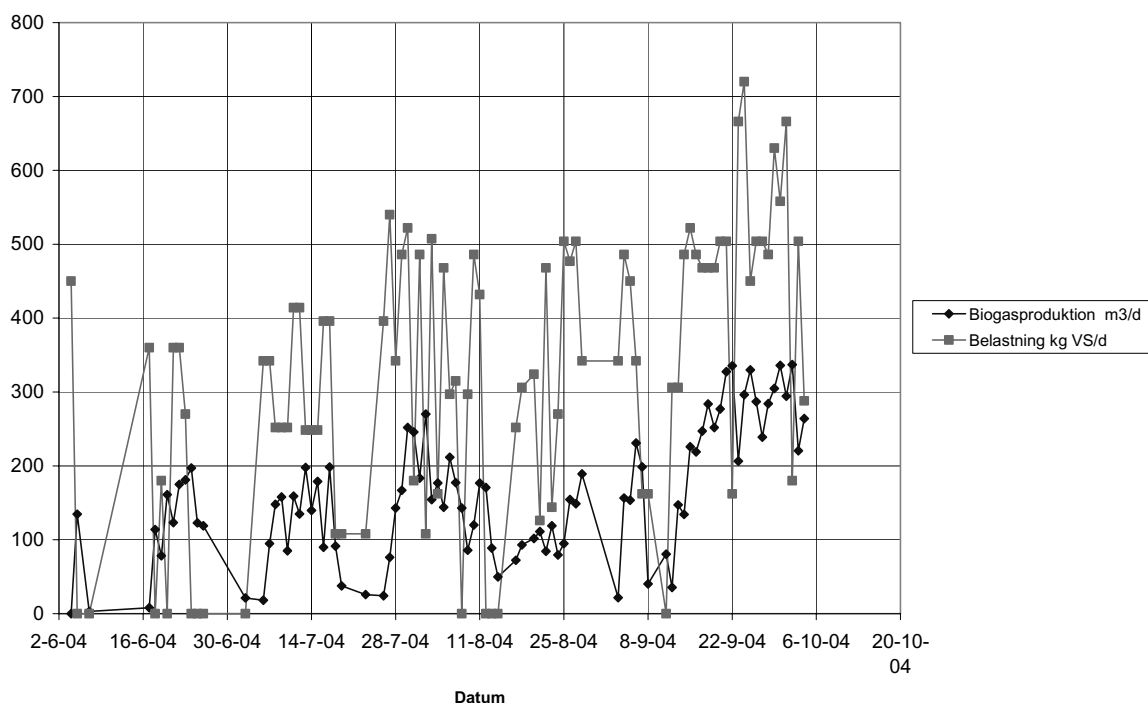


Bild 17. Mängd organiskt material som tillförs röt-kammaren samt biogasproduktion under veckorna 22-40, 2004.

Tabell 5. Fraktioner som pumpats in i röt-kammaren under de 3 första kvartalen 2004.

| Veckoperiod                | 4-6           | 22-40         |
|----------------------------|---------------|---------------|
|                            | mängd,<br>ton | mängd,<br>ton |
| Bageriavfall               | 0             | 0             |
| Hästgödsel                 | 15            | 0             |
| Betblast                   | 15            | 0             |
| Vallgröda                  | 0             | 155           |
| Vatten                     | 0             | 0             |
| Uttaget röt-kammarinnehåll | <u>75</u>     | <u>1550</u>   |
| Summa                      | 105           | 1705          |

## Systemförändringar och drifterfarenheter

Under 2004 har en del systemförändringar genomförts. En begagnad exakthack har införskaffats för skörd av vallgrödan i syfte att erhålla en bättre reduktion av fiberlängden. Vidare har maceratorn som finfördelar det substrat som pumpas in i röt-kammaren, se bild 6 och 7, tagits ur drift. Det beror på att det förekommit ett flertal stopp i maceratorn. Stoppen har orsakats av att det fiberrika substratet fastnar i maceratorn. Mixervagnen används ej längre för att tillföra vallgrödan till blandnings-behållaren. Istället tillförs ensilerad vallgröda skopvis till blandnings-behållaren via en traktorlastare.

Vid framtagning av nya substratblandningar för rötning tas röt-kammarinnehåll ut och blandas med fiberrikt material som vallgröda/hästgödsel/betblast för att erhålla en pumpbar blandning. Genom att använda röt-kammarinnehållet istället för färskvatten för dessa blandningar kan rötrestens innehåll av torrsubstans och växtnäring höjas.

### Betblast och hästgödsel (vecka 4-6)

För att få pumpbara substratblandningar i blandnings-behållaren visade det sig att det blandningsförhållande som fungerade bäst var 1 del blast- och hästgödsel-blandning med 2-3 delar röt-kammarinnehåll (ca 1,5 % TS), vilket resulterade i en substratblandning på uppskattningsvis 5-6 % TS-halt.

### Vallgröda (vecka 22-40)

Metodiken för att röta den ensilerade vallgrödan är att blanda den med röt-kammarinnehåll i blandningstanken för att få den pumpbar, se bild 1, 4 och 5. Det blandningsförhållande som visat sig fungera bäst är 1 del vallgröda (20 % TS) och 10 delar röt-kammarinnehåll (3 % TS) som genererar en substratblandning med en beräknad TS-halt på 4,5 %. Tidsbehovet för att generera en pumpbar substratblandning som innehåller ca 1 ton vallgröda (normal mängd vid beredning av en substratblandning) är 15-20 minuter, vilket inkluderar tid att till blandnings-tanken tillföra röt-kammarinnehåll, hämta vallgrödan från ensilagelagret och tippa den i blandnings-behållaren samt generera en homogen slurry med blandnings-tankens omrörare. Om exempelvis röt-kammarbelastning har varit 1,2 kg VS/m<sup>3</sup> & dag måste röt-kammaren dagligen tillföras ca 3 ton vallgröda som bladas med 30 ton röt-kammarinnehåll innan den pumpas in i röt-kammaren. Detta medför att det då dagligen görs ca 3 stycken blandningar av vallgröda och röt-kammarinnehåll i blandnings-behållaren.

Eftersom inget färskvatten tillförs vid substratblandningarna har produktionen av rötrest varit ungefär lika stor som mängden vallgröda som rötas, dvs. närmare 3 ton per dag då röt-kammarbelastningen har varit 1,2 kg VS/m<sup>3</sup> & dag.

Den fiberrika vallgrödan gör substratblandningen trögflytande. Ökas andelen vallgröda i blandningen medför det att excenterskrupumpen, som suger materialet från blandnings-behållaren (lyfthöjden är ca 6 m) och trycker det vidare in i röt-kammaren (se bild 6), börjar ge ifrån sig missljud vid drift. Missljud vid pumpning kan också uppkomma när nivån i blandningstanken är låg.

Prov har gjort att blanda färsk vallgröda liksom färsk hästgödsel i blandningstanken tillsammans med röt-kammarinnehåll. Det har dock visat sig att det färska materialet har varit svårt att blanda med röt-kammarinnehållet till en homogen slurry då det gärna ligger kvar på ytan i blandningstanken under omblandning. Om däremot vallgrödan har ensilerats och hästgödseln under en period har sam-lagrats med den våta betblasten så förbättras egenskaperna att snabbt erhålla homogena substratblandningar i blandningstanken.

Det har under driften även visat sig att det har gått snabbare att få till homogena substratblandningar då ensilerad vallgröda tillförs direkt till blandningstanken med traktorskopa. Ensilaget i denna form är kompakt och sjunker snabbt ner i blandningsbehållarens vätska då dess omrörare körs. Om däremot ensilaget läggs i en mixervagn och att man från denna, i en jämn ström, matar ensilaget ner i blandningsbehållaren har det visat sig att det tagit längre tid att erhålla en homo-gen substratblandning. Detta kan bero på att mixervagnen luckrar upp ensilaget (lägre densitet) och att det därmed är mer benäget att flyta på ytan, vilket resul-terar i att det tar längre tid att blanda ner det i blandningsbehållarens vätska.

TS-halten och mängden fibrer har ökat i röt-kammarinnehållet i och med att substratet det senaste halvåret huvudsakligen har bestått av vallgröda. Röt-kammararens omrörare, se bild 1, drivs intermittent och omblandningsfrekvensen för att förhindra bildning av svämtäcke är 10 minuters omblandning, 10 minuters stillastående dygnet runt. Periodvis uppkommer dock svämtäcke som bryts genom att driva röt-kammararens omblandare under några timmar. Detta har även kombi-nerats med att något sänka nivån i röt-kammararen, vilket också har visat sig bidra till att bryta uppkomna svämtäcken.

Då driftmässiga förändringar har genomförts i anläggningen under 2004 har dessa, förutom att förbättra anläggningens funktion, också baserat sig på att optimera användningen av processelektricitet. Eftersom maceratorn tagits bort har elanvändningen minskat (jämför bild 14 och tabell 7). Dessutom har behovet av diesel minskat eftersom den traktordrivna mixervagnen inte används längre. Däremot har elbehovet för att omröra röt-kammararen ökat för att motverka sväm-täckesbildning. Idag går denna omrörare ca 12 timmar per dygn medan beräk-ningar i tabell 7 baserar sig på att denna omrörare är i drift 7 timmar per dygn. För närvarande (oktober 2004) testas vid anläggningen att minska omrörarens drifttid.

## **Planerade förändringar**

För att minska arbetstiden för att generera nya substratblandningar planeras det att investering i ett avlastarbord, där några dagars behov av vallgröda kan lagras. Avlastarbordet kommer att styras av anläggningens dator och därmed kan de ofta återkommande blandningar av substrat för rötning helt automatiseras.

Eftersom biogasproduktionen nu börjar bli allt högre har även möjligheterna för att införskaffa en enhet för el- och värmeproduktion börjat undersökas.

## Konsekvenser vid kontinuerlig drift med full kapacitet

### Beräkning av anläggningens elbehov vid drift

Utgående från de genomförda eleffektmätningarna under uppstartsperioden, redovisas i detta kapitel ett beräknat elbehov för anläggningen beroende av TS-halten på substratblandning och röt-kammarbelastning. Det är dock viktigt att notera att driftförhållandena skiljer sig från de förhållanden som råder då anläggningen drivs enligt de avsedda produktionsförhållandena. Det skulle därför vara värdefullt att mäta och dokumentera energibehovet när produktionsförhållanden nåtts för att därmed verifiera energiåtgången.

I bild 18 redovisas vilken mängd substrat som måste pumpas in till röt-kammaren per dygn för tre olika blandningar från tabell 4, beroende på vid vilken röt-kammarbelastning som anläggningen önskas drivas vid.

I bild 19 redovisas biogasanläggningens totala elbehov beroende på vid vilken röt-kammarbelastning som anläggningen önskas drivas vid. Elbehovet redovisas som % av den energimängd som biogasanläggningen genererar i form av metan. I tabell 6 redovisas elbehovet relaterat dels till inpumpad mängd substrat till röt-kammaren, dels till substratets innehåll av torrsbstans (inkluderar ej torrsbstansbidraget från det återförda röt-kammarinnehållet eller återförd vätska som används då en ny substratblandning bereds).

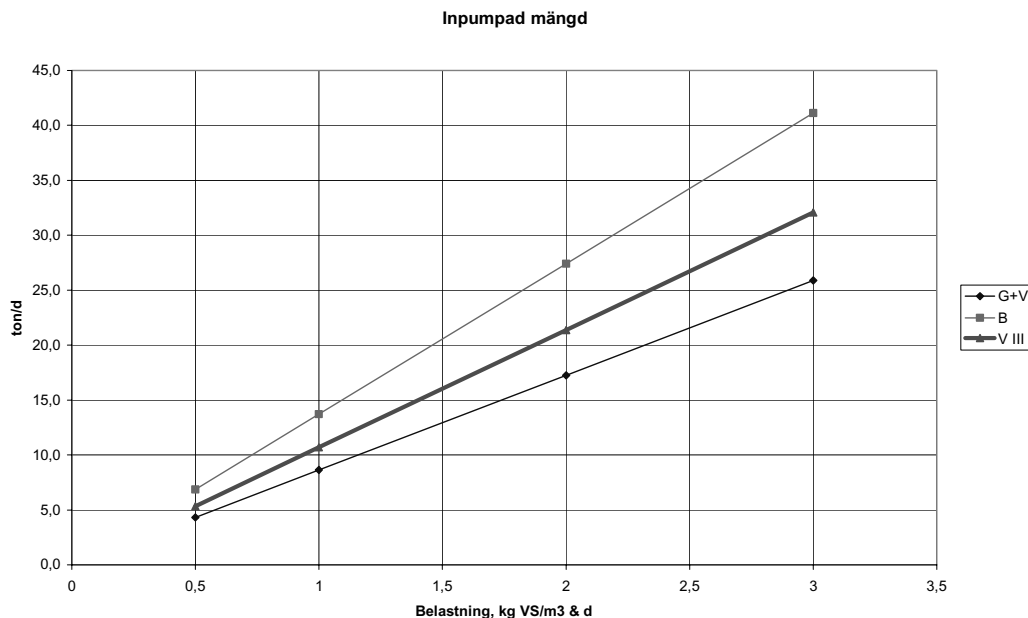


Bild 18. Inpumpad mängd substrat att tillföra röt-kammaren vid olika belastningar.

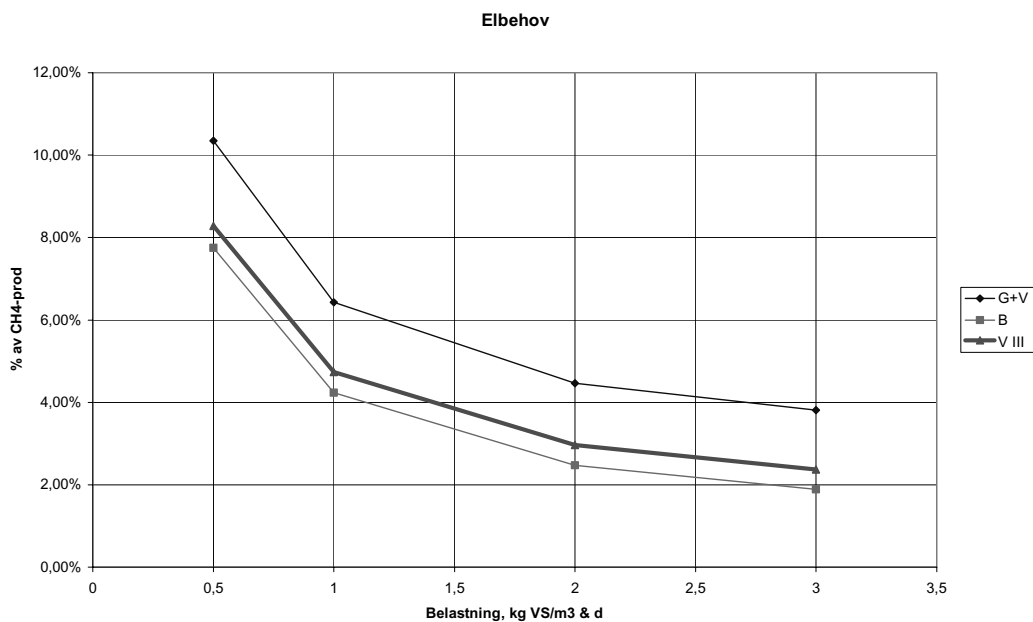


Bild 19. Elbehov angivet som del av anläggningens metanproduktion vid olika belastningar av röt-kammaren.

Tabell 6. Det beräknade totala elbehovet vid röt-kammarbelastning på 3 kg VS/m<sup>3</sup> & d.

|       | Summa, elbehov             |                    |                         |
|-------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
|       | % av CH <sub>4</sub> -prod | kWh/m <sup>3</sup> | kWh/kg TS <sup>1)</sup> |
| B     | 1,9%                       | 1,82               | 0,050                   |
| V III | 2,4%                       | 2,94               | 0,063                   |
| G+V   | 3,8%                       | 5,31               | 0,088                   |

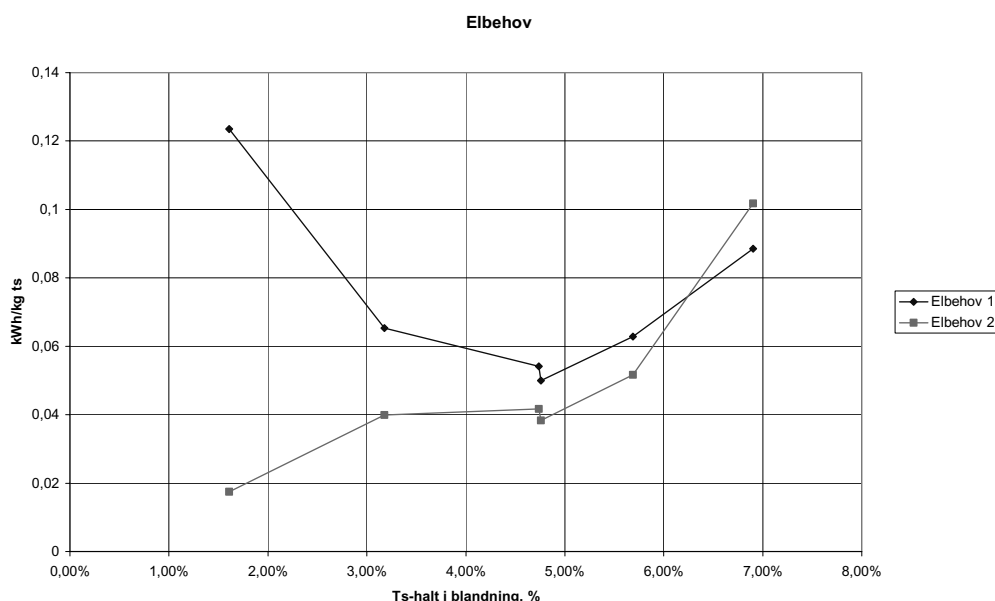
1) Inkluderar ej torrsubstansbidraget från det slam som tas ut från röt-kammaren och som används då en ny substratblandning bereds.

I tabell 7 redovisas ett beräknat elbehov för de olika eldrivna komponenterna i biogasanläggningen som procent av anläggningens totala elförbrukning.

Tabell 7. Den beräknade fördelningen mellan de olika maskinernas elbehov vid drift av biogasanläggningen vid en röt-kammarbelastning på 3 kg VS/m<sup>3</sup> & d. I baseffekten inkluderas exempelvis cirkulationspump för uppvärmning av röt-kammare, styrsystem för anläggning, luftfläkt för röt-kammarens dubbelmembrantank samt uppvärmning av teknikcontainer.

|       | Omrörare substratlager | Skrup-pump | Macerator | Omrörare röt-kammare | Bas-effekt | Summa  |
|-------|------------------------|------------|-----------|----------------------|------------|--------|
| B     | 21,6%                  | 8,0%       | 17,3%     | 22,6%                | 30,4%      | 100,0% |
| V III | 22,7%                  | 9,0%       | 26,1%     | 18,0%                | 24,2%      | 100,0% |
| G+V   | 22,5%                  | 12,8%      | 35,8%     | 12,3%                | 16,6%      | 100,0% |

I bild 20 redovisas anläggningens elbehov beroende av substratblandningens TS-halt.



*Bild 20. Beräknat elbehov för biogasanläggningen som funktion av substratets TS-halt vid röt-kammarbelastning på 3 kg VS/m<sup>3</sup> & d. "Elbehov 1" inkluderar ej TS-bidraget från det återförda röt-kammarinnehållet liksom återförd vätska som används vid substratblandningen medan "Elbehov 2" inkluderar TS-bidraget från nämnda rötade fraktioner.*

Då anläggningen rötter fiberrika substrat visar mätningarna på att elförbrukningen har ett minimum vid TS-halter för substratblandningen på 4-5 % för att därefter öka med ökande TS-halt, se bild 20 och kurva "Elbehov 1". Orsaken till denna ökning är att maceratorns och excenterskruvpumpens elbehov ökar, men även omröraren i blandningstanken bidrar till denna ökning. Elbehovet vid rötning av hästgödselrika substratblandningar blir högre än blandningar baserade på vall eller blast (se bild 19 och tabell 6).

Det kan dock finnas motiv till att göra blandningar, som innehåller mycket fiberrika substrat med högre TS-halter än 5 %. Detta beror dels på att mängden substratblandning att hantera blir mindre vid högre TS-halt (se bild 17), dels att värmeförlusterna blir lägre vid högre TS-halt eftersom mindre mängder återförd vätska/återförd röt-kammarinnehåll används vid blandningstillfällena.

## Massflödesbalans

I bild 21 redovisas massbalanserna och TS-halter när driften nått stabila förhållanden baserat på de substrat som lantbrukaren avser att rötta och där förändringarna i sammansättning på substratblandningen samt röt-kammarinnehåll är små över tiden. De beskrivna substraten som rötas beskrivs i tabell 1. Den angivna vattenmängden tillförs för att späda ammoniumkvävehalten i röt-kammaren till ca 3 g/l. Detta baserar sig på att 50 % av det substratens totala kväveinnehåll föreligger som ammoniumkväve efter rötningen.

TS-halten i röt-kammaren har ansatts till 7,5 %. Den rötrest som lämnar röt-kammaren kommer att separera spontant i den brunn där den samlas upp (Nordberg & Edström, 1997). På ytan bildas då ett svämtäcke med högre TS-halt och under detta en vätskefas med lägre TS-halt. Delar av denna vätska antas återföras till blandningsbehållaren. Syftet med denna återföring är huvudsakligen att underlätta inpumpningen av de fiberrika substraten. I bild 21 återförs även slam direkt från röt-kammaren till blandningsbehållaren.

I bild 21 har den ingående substratblandningen en TS-halt på 11 %. Detta höga värde kan nås eftersom bageriavfall och återförd vätska har mindre påverkan på blandningens reologiska egenskaper än de fiberrika substraten (vallgröda, hästgödsel och blast) och därför antas att anläggningens pumpar klarar av att pumpa denna substratblandning. Under uppstarten har anläggningen pumpat blandningar med högt innehåll av bageriavfall vid TS-halter upp mot 15 % (se bild 12).

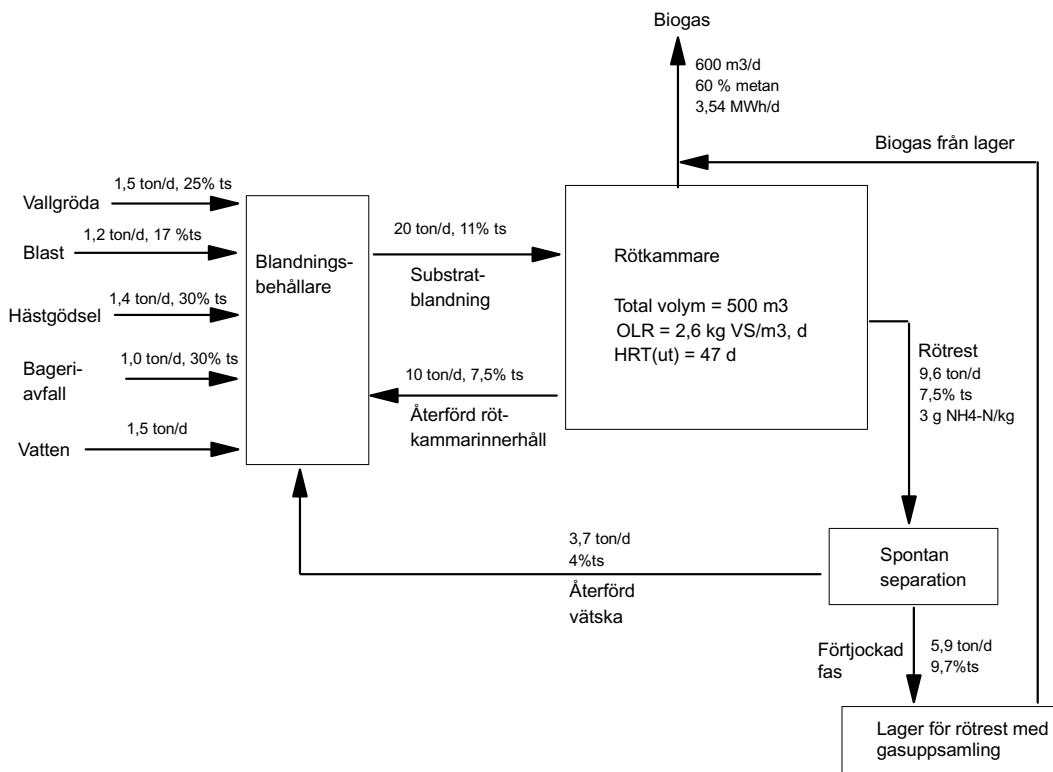


Bild 21. Schematisk bild över massflöden i anläggningen vid kontinuerlig drift där alla substrat rötas.

Den specifika metanproduktionen vid rötning av substratblandningen har beräknats till ca 310 liter  $\text{CH}_4/\text{kg}$  tillförd VS.



## Beräkning av anläggningens värmebehov vid drift

Uppvärmningsbehovet, E, har beräknats enligt ekvation 1 och specifika värmekapacitiveteten för ett material x beräknas enligt ekvation 2.

$$\text{Ekv. 1} \quad E = m_X \cdot C_X \cdot (t_1 - t_2)$$

$$\text{Ekv. 2} \quad C_X = (100 - TS_X) / 100 \cdot 4200 + TS_X / 100 \cdot 1600 \quad (\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$$

$m_X$  = materialets massa, (kg)

$C_X$  = specifika värmekapacitiveteten, ( $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$TS_X$  = materialets TS-halt, (% av våtvikt)

$t_1 - t_2$  = materialets temperaturförändring, ( $^\circ\text{C}$ )

Värmebehovet för uppvärmning av substraten samt röt-kammarens värmetransmissionsförluster har beräknats vara ca 15 % av den energimängd som biogas-anläggningen genererar i form av metan. Dessa beräkningar baserar sig på massflödena som redovisas i bild 21. Vid rötning antas temperaturen på substraten vallgröda, blast, gödsel och bageriavfall höjas från 15 till 37  $^\circ\text{C}$ . Temperaturen på tillfört vatten antas höjas från 15 till 37  $^\circ\text{C}$ . För återförd processvätska antas temperaturen höjas från 20 till 37  $^\circ\text{C}$  och värmeförlusten på det röt-kammar-innehåll som används vid substratblandningarna antas motsvara 7  $^\circ\text{C}$ . Röt-kammarens värmeförluster beräknas motsvara ca 1/3-del av det totala värmebehovet.

## Energiflöden och metanemissioner

Gårdsanläggningen har ännu ej införskaffat något kraftvärmeanläggning. När normala driftsförhållanden uppnås kommer dock en investering att ske i ett kraftvärmeaggregat.

I Tyskland är elgenerering med gasmotor helt dominerande på gårdsnivå. Detta beror till stor del på det högre elpriset för ström som levereras till nätet (Weiland pers. medd.). Nyligen har även bonus på elpriset garanterats, dels om elen produceras från energigrödor, dels om system för energiomvandling och värmeutnyttjande effektiviseras, se tabell 8. Detta har medfört att tillväxten av nya gårdsbiogasanläggningar har varit mycket hög.

Tabell 8. Priser, på producerad el från gårdsanläggningar i Tyskland vid leverans ut till nätet (gäller om installerad eleffekt är mindre än 150 kW). Kurs 1 Euro = 8,9 SEK

|  | Pris,<br>kr/kWh el |
|--|--------------------|
| El, baspris  | 1,02               |
| Tillägg vid elproduktion via rötning av energigrödor         | 0,52               |
| Tillägg vid utnyttjande av producerad värme vid elproduktion | 0,18               |
| Teknologibonus (=bränsleceller)                              | 0,18               |
| <b>Summa max elpris</b>                                      | <b>1,91</b>        |

## Kraftvärmeproduktion i Tyskland

Elgenerering vid tyska gårdsanläggningar sker nästan uteslutande med kolmotorer som drivs enligt diesel- eller ottoprocessen. Det börjar dock komma alternativ som stirlingmotorer, mikroturbiner och bränsleceller.

### Dieselmotorer

För små kraftvärmeanläggningar vid Tyska biogasanläggningar används idag en så kallad dual-fuelmotor, vilket är en konventionell dieselmotor som körs med biogas och ca 10 % av energin från diesel som tändbränsle. Motorn måste startas på enbart diesel, sedan kan den gå på 90-95 % biogas. Den enda modifiering som behövs av motorn är montering av en gas-luftblandare. Elverkningsgraden ligger på 30-39 % (Handreichung, 2004).

### Ottomotorer

Vid småskalig elproduktion användes tidigare ofta modifierade Fiatmotorer, så kallade Totem-aggregat. De är idag ovanliga beroende på att de gick på höga varvtal, kring 3000 varv/min, och därmed slets snabbt. Elverkningsgraden för små bensinmotorer ligger i allmänhet på 22-25 % och värmeverkningsgraden kring 50 % om avgaserna kyls (Schulz, 1996). Totalt ger det en verkningsgrad kring 70-75 %. Dessa motorer har idag nästan helt ersatts av dual-fuel dieselmotorer i Tyskland.

Vid stora biogasflöden används vanligen ottomotorer (oftast större än 1 MW<sub>el</sub>) som har elverkningsgrader på 34-40 % (Handreichung, 2004).

## Antaganden för kraftvärmeproduktion vid Hagavik

Den biogas som genereras samlas upp och antas förbrännas i en gasmotor med en elverkningsgrad på 35 % och värmeverkningsgrad på 55 %.

Anläggningens interna behov av el antas motsvara 2,5 % av den energimängd som biogasanläggningen genererar i form av metan och det interna processvärmebehovet har beräknats motsvara 15 %. Det antas också finnas avsättning för överskottsmängden av värme och el.

I tabell 9 redovisas de beräknade energiflödena för biogasanläggningen och emissionerna av metan vid förbränning av biogasen vid drift enligt bild 21. Vid förbränning av biogas antas 3 % av gasen emitteras som oförbränd (Sommer m.fl., 2001).

Tabell 9. Energiflöden och emissioner av metan vid drift av biogasanläggning.

|  | Hagavik | Enhet                              |
|--|---------|------------------------------------|
| Brutto, CH <sub>4</sub> -gasproduktion vid rötning   | 132800  | m <sup>3</sup> /år                 |
| Netto, producerad el och värme                       | 919     | MWh/år                             |
| Andel elektricitet av nettoenergi                    | 44      | %                                  |
| Internt elbehov                                      | 32      | MWh/år                             |
| Internt värmebehov                                   | 194     | MWh/år                             |
| CH <sub>4</sub> -förluster vid förbränning av biogas | 4000    | m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /år |

## Emissioner av klimatgaser

För att kunna beskriva anläggningens emissioner av klimatgaser måste jämförelse göras med ett alternativ till att framställa samma mängd el och värme. Elektricitet som behövs för att normera systemen antas genereras via kolkondenskraftverk. Emissionerna har satts till 239 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/MJ el (Buhre m.fl., 1997).

Värme som behövs för att normera systemen antas genereras via förbränning i en panna. Emissionerna har satts till 3,12 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/liter olja som förbränns (Brännström-Nordberg m.fl., 1996). Oljepannans verkningsgrad har satts till 90 %.

I tabell 10 redovisas de beräknade ekvivalenta koldioxidemissionerna för dels systemet med biogasanläggningen enligt bild 21, dels ett referenssystem. I referenssystemet genereras motsvarande elmängd som biogasanläggningen produceras via kolkondenskraftverk och motsvarande värmemängd via förbränning av olja i en panna. Båda de studerade systemen genererar:

- 401 MWh elektricitet per år
- 518 MWh värme per år

Tabell 10. Ekvivalenta koldioxidemissioner för biogassystemet och ett referenssystem.

|                          | Referens | Biogas | Enhet                       |
|--------------------------|----------|--------|-----------------------------|
| Elproduktion, kolkondens | 345,3    | 0,0    | ton CO <sub>2</sub> -ekv/år |
| Förbränning, olja        | 179,5    | 0,0    | ton CO <sub>2</sub> -ekv/år |
| Förbränning, metan       | 0,0      | 83,0   | ton CO <sub>2</sub> -ekv/år |
| Summa                    | 524,8    | 83,0   | ton CO <sub>2</sub> -ekv/år |

## Ekonomisk kalkyl

Med ledning av resultat och erfarenheter från uppstart samt beräkningar av ett driftsfall av anläggningen görs nedan en övergripande ekonomisk känslighetsanalys av nyckelfaktorer för att belysa anläggningens ekonomiska utfall.

### Energipriser

I tabell 11 redovisas kostnaderna för elektricitet, eldningsolja samt bensin och diesel dels för privatpersoner, dels för lantbrukarföretagare (efter återbetalning av skatt).

Värdet av den elektricitet som produceras vid en gårdsbiogasanläggning är beroende på om den används internt på gården eller om den säljs ut på elnätet. Elektricitet som har producerats av biogas är en biobränslebaserad produktionsform och omfattas av gröna elcertifikat. Elcertifikaten motsvarar ca 23 öre/kWh elektricitet (medelpris under år 2004, [www.svk.se](http://www.svk.se)). Vid gårdsanvändning av den producerade elektriciteten kan även värdet av minskad nätkostnad tillgodoräknas, se tabell 11. Vid intern användning bedöms producerad elektricitet kunna värderas till ca 70 öre/kWh då den minskade nätkostnaden inkluderas liksom elcertifikaten.

Vid leverans ut på nätet uppkommer en förhandlingssituation vad gäller pris-sättningen på elektriciteten. I detta fall bedöms producerad elektricitet kunna värderas till 40 - 55 öre/kWh då intäkt av gröna elcertifikat inkluderas.

Tabell 11. Energipriser för elektricitet, eldningsolja 1 och bensin i Sverige.

|  | EI <sup>3)</sup>    | EO1                 | Bensin              | Diesel              | Enhet  |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Bränsle  | 0,356 <sup>1)</sup> | 0,359 <sup>2)</sup> | 0,332 <sup>2)</sup> | 0,349 <sup>2)</sup> | kr/kWh |
| Energi- och CO2-skatt & certifikat                           | 0,280 <sup>1)</sup> | 0,338 <sup>2)</sup> | 0,539 <sup>2)</sup> | 0,372 <sup>2)</sup> | kr/kWh |
| Pris, privatpersoner exkl. moms                              | 0,636 <sup>1)</sup> | 0,697 <sup>2)</sup> | 0,871 <sup>2)</sup> | 0,721 <sup>2)</sup> | kr/kWh |
| Pris, lantbrukarföretag inkl. skattereduktion men exkl. moms | 0,382 <sup>1)</sup> | 0,415 <sup>2)</sup> | –                   | 0,404 <sup>2)</sup> | kr/kWh |

1) "Fast elpris", Vattenfall, januari 2005

2) Eldningsolja 1 (EO1), Bensin 95 blyfri samt Citydiesel, Shell, januari 2005

3) Priset exkluderar nätkostnad på ca 0,15 SEK/kWh (exkl. moms)

## Kostnader för en anläggning

Investeringen för biogasanläggningen var 2,0 M SEK och från DESS utgick ett investeringsbidrag på 0,6 M SEK. I denna investering inkluderas ej en gasmotor för att generera kraftvärme. Lantbrukaren planerar att köpa en gasmotor senare, när anläggningen stabilt genererar de kalkylerade biogasvolymerna. I dessa beräkningar har kostnaden för denna kraftvärmeanläggning ansatts till 0,64 M SEK (Lantz, 2004). Den totala investeringen relaterat till utvunnen biogas, utan bidrag, motsvarar 17,9 M SEK/MW gaseffekt och med bidrag 13,8. Detta inkluderar även investeringen för gasmotorn och gasproduktionen baserar sig på de redovisade flödena i bild 21. I tabell 12 redovisas de beräknade kostnaderna för biogasanläggningen. Kapitalkostnaderna inkluderar investeringsbidraget.

Med ett medelpris på 0,40 SEK/kWh nettoproducerad energi beräknas anläggningen redovisa ett ekonomiskt nollresultat, se tabell 12. Relaterat enbart till investeringsbidraget har kostnaden för denna CO<sub>2</sub>-reduktion beräknats till 0,19 SEK/kg CO<sub>2</sub> under anläggningens avskrivningstid.

Ekonomisk livslängd för anläggningens delar har satts till 9 år för gasmotor (Lantz, 2004) och 15 år för övriga komponenter (Hjort-Gregersen, 1997). Kalkylränta har satts till 7 %.

Den dagliga driften antas till 2 timmar per vecka och arbetskostnaden sätts till 140 kr/timme. Underhåll av biogasanläggningen antas kosta 4,50 kr/m<sup>3</sup> substrat (Hjort-Gregersen, 1997). Underhållet reduceras i förhållande till skillnaden i dess investeringsbehov. Gasmotorns underhållskostnad har satts till 15 öre/producerad kWh el (Nilsson, 2000). Underhållet för gaspannan antas vara 1,5 öre/kWh värme.

Kostnaderna för skörd inklusive ensilering av vallgröda och betblast samt spridning av rötresten inkluderas ej i denna ekonomiska analys. På intäktssidan inkluderar ej värdet av växtnäringen i rötresten. Med detta godkända gödselmedel för ekologisk odling, räknar lantbrukaren dock med att betydligt kunna höja gårdens skördar av spannmål.

Tabell 12. Kostnaderna för att driva gårdsbiogasanläggningen. Energikostnaden per kWh är utslagen per nettoproduktion av värme- och elproduktion, se tabell 10, där också CO<sub>2</sub>-ekvivalenta emissioner redovisas.

|   | Biogas | Enhet                  |
|---|--------|------------------------|
| Kapitalkostnad, gasutvinning  | 154,0  | k SEK/år               |
| Kapitalkostnad, el-värme produktion   | 98,2   | k SEK/år               |
| Rörliga kostnader, gasutvinning   | 46,5   | k SEK/år               |
| Rörliga kostnader, el-värme produktion  | 65,0   | k SEK/år               |
| Summa, kostnad  | 363,8  | k SEK/år               |
| Energikostnad, SEK/kWh <sup>1)</sup> (netto, el och värme)  | 0,40   | SEK/kWh                |
| Kostnad, reduktion av CO <sub>2</sub> -ekvivalenta utslaget på totala investeringen <sup>2)</sup> | 0,82   | SEK/kg CO <sub>2</sub> |
| Kostnad, reduktion av CO <sub>2</sub> -ekvivalenta relaterat till bidragsdelen                    | 0,15   | SEK/kg CO <sub>2</sub> |

1) För att intäkterna ska vara lika stor som kostnaderna för anläggningen

2) Totala investeringen har reducerats med investeringsbidraget

3) Kostnaden enbart baserat på investeringsbidraget

## Diskussion

Den utveckling av gårdsbaserad biogasproduktion som skett framför allt i Tyskland under de senaste åren visar på möjligheter för lantbruket att kombinera en effektiv växtnäringshushållning med generering av förnybar energi. Därför är det av stort demonstrationsvärde att denna typ av anläggningar kan studeras i Sverige även om förutsättningarna avseende höga elpriser inte är de samma som i Tyskland.

### Begränsningar i studien

Studien har fokuserat på och beskrivit enbart driften av biogasanläggningen. Detta är en begränsning eftersom anläggningen är integrerad i hela gårdens drift. Med det producerade gödselmedlet, räknar lantbrukaren med att betydligt kunna höja gårdens skördar av spannmål. Dessa effekter är ej värderade i denna studie.

### Drift av biogasanläggningen

Rötning av enbart vallgröda i denna skala är oprövat i Sverige. Erfarenheter från pilotförsök har pekat på problematiken att röta den fiberrika vallgrödan (Nordberg & Edström, 1997). Eftersom den valda rötningemetoden bygger på att behållare effektivt kan omblandas och materialen kan pumpas mellan anläggningens olika delar är de flytande materialens reologiska egenskaper viktiga. Vallgröda är dock ett betydligt fiberrikare material än de substrat som normalt rötas. Detta medför att blandningar med vätska blir trögflytande, vilket ställer stora krav på funktionen för anläggningens omrörare och pumpar liksom hur dessa drivs. Därför har det under driften kontinuerligt pågått en omfattande intrimning och modifiering av en del processutrustning, vilket har genomförts målmedvetet och med stort personligt engagemang av anläggningsägaren, för att erhålla bästa anläggningsfunktion.

### **Framtida möjligheter**

Den viktigaste parametern för lantbrukaren att arbeta med är att optimera driften. Biogasanläggningen har kapacitet att röta mer substrat än de 1875 ton som redovisas i tabell 1, vilket kommer att resultera i en högre biogasproduktion och att mer växtnäring kan disponeras för att gödsla grödorna. Med rätt biogassubstrat kan det uppskattningsvis finnas en potential att fördubbla anläggningens biogasproduktion. Omhändertagande av externa avfall kan dessutom ofta generera behandlingsintäkter till anläggningen.

Andra möjligheter är att de miljövinster som att den producerade biogasen potentiellt skulle kunna bidra med som minskade CO<sub>2</sub>-utsläppen börjar värderas.

### **Problem**

Gårdens behov av elektricitet och värme är begränsad. Vid kraftvärmeproduktion finns alltid möjligheten att leverera överskottselektricitet till nätet medan det kan vara betydligt svårare att finna avsättningen för överskottsvärmet.

De fiberrika substraten medför att betydande kvantiteter substratblandningar ska hanteras dagligen. Detta innebär att lantbrukaren nästan dagligen måste lägga ner tid för att göra dessa substratblandningar. Det fiberrika materialet kan även ge begränsningar i materialens pumpbarhet, omblandning i blandningsbehållare och röt-kammare samt öka underhållskostnaderna.

### **Teknikutveckling**

I Tyskland finns idag ca 2500 gårdsbaserade anläggningar som huvudsakligen rötter gödsel, avfall men även en del energigrödor. Det börjar komma allt mer maskinell utrustning som är anpassade för denna marknad. Det torde i framtiden finnas en god potential att effektivisera/rationalisera driften av den typen av gårdsanläggningar som beskrivs i denna rapport.

### **Investering och ekonomi**

Den totala investeringen relaterat till utvunnen biogas, utan bidrag, motsvarar 17,9 M SEK/MW gaseffekt. Detta investeringsbehov motsvarar väl vad som redovisas vid de danska storskaliga biogasanläggningarna (Gregersen, 1998).

## **Litteratur**

- Angelidaki I. & Ellegaard L., 2002. Anaerobic digestion in Denmark: past, present and future. Technical University of Denmark, in proceedings of 7<sup>th</sup> FAO/SREN-WORKSHOP, Anaerobic digestion for sustainability in waste (water) treatment and re-use. Moscow, Russia.
- Brännström-Nordberg B.-M., Dethlefsen U., Johansson R., Setterwall C., Tunbrant S. 1996. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion. Vattenfall AB. Stockholm.
- Bränslen från jordbruksgrödor, 1983-1986. 1986. Möjlig production, råvarukostnader och värde av sidoproducer. Project Agrobioenergi, SLU, Uppsala, Sweden.
- Buhre M., Eriksson Å. 1997. Livscykelanalys för kolkraft. Examensarbete vid Vattenfall Energisystem AB. Stockholm.

- Gregersen, G. H. 1998. Biogasfællesanlæg, Økonomske resultater og analyser. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomske Institut. Valby. Danmark.
- Hammar M. 2001. Ekonomiska konsekvenser av olika hanteringssystem för hästgödsel. JTI rapport Lantbruk & Industri nr 279. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala. Sverige.
- Hansson G., 1981. Methane fermentations: end product inhibition, thermophilic methane formation and production of methane from algae. Department of technical Microbiology, Lund, Sweden.
- Handreichung. 2004. Biogasgewinnung und -nutzung. ISBN 3-00-014333-5. Institut für Energetik Umwelt gGmbH. Leipzig. Deutschland .
- Hjort-Gregersen K. 1997. Ökonomin i gårdsbiogasanlegg. Statens jordbrugs- og Fiskeriøkonomske Institut. Danmark.
- Johansson W., Mattson L., Thyselius L. & Wallgren B., 1993. Energigrödor för biogas. Effekter på odlingssystem. JTI-rapport 161. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala. Sverige.
- Lantz M. 2004. Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvärme – ekonomi och teknik. Lunds tekniska högskola, institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och teknik. Lund. Sverige.
- Livsmedelstabell. 1993. Energi och näringsämnen. SLV, statens livsmedelsverk, Uppsala.
- Nilsson S. 2000. Gårdsbaserad biogas på plöning naturbruksgymnasium. JTI-rapport 21. Swedish Institute of Agricultural Engineering. Uppsala. Sweden.
- Nordberg Å., Edström M. 1997. Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor. JTI rapport Kretslopp & Avfall nr 11. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala. Sverige.
- Schulz H. 1996. Biogaspraxis - Grundlagen Planung Anlagenbau Beispiele. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, Tyskland.
- Sommer S.G., Møller H.B., Petersen S.O. 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF rapport Husdyrbrug nr 31. Danmarks JordbrugsForskning. Tjele. Danmark.
- Steineck S., Gufstason A., Stintzing A., Salomon E., Myrbeck Å., Albihn A. & Sundberg M., 2000. Växtnäring i kretslopp. SLU, Uppsala, Sweden.
- Weiland P., 2002. FAL, Agricultural Research Centre. Braunschweig, Tyskland.

## Internet

Shell, [www.shell.se](http://www.shell.se) (08-2003)

Svenska Kraftnät, [www.svk.se](http://www.svk.se) (01-2005)

Vattenfall, [www.vattenfall.se](http://www.vattenfall.se) (08-2003)

Weda, [www.Weda.de](http://www.Weda.de)

Weltec Biopower, [www.Weltec-biopower.de](http://www.Weltec-biopower.de)