



Produktion av biogas på gården



Svenska lantbrukssällskapens förbund



Produktion av biogas på gården

Fredrik Ek

Publikationen är utgiven av projektet
Bioenergirådgivning i Svenskfinland

Pämbild: Fredrik Ek
Tryckeri: Fram Ab, Vasa

ProAgria Svenska lantbrukssällskapens förbund
Helsingfors 2007

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|--|-----------|
| 1. Biologin bakom biogasbildningen | 1 |
| Processens fyra steg | 1 |
| Metanbildande bakterier | 2 |
| Syre | 3 |
| Temperatur | 3 |
| pH-värde | 5 |
| Näringsämnen | 5 |
| Hämmande ämnen | 5 |
| 2. Biogasbildningen i praktiken | 6 |
| Biogasråvaror | 6 |
| Hygienisering av substrat | 7 |
| Gasutbyte och -kvalitet | 7 |
| Uppehållstid | 8 |
| Rötkammarbelastning | 9 |
| Omblandning | 10 |
| Rötrest | 10 |
| 3. Anläggningsteknik | 12 |
| Spontan metanbildning | 12 |
| Enkla biogasanläggningar | 13 |
| Våtröttningsanläggningar | 14 |
| Torrötning | 15 |
| 4. Gasens användning | 17 |
| Värmeproduktion | 17 |
| Kraftvärmeproduktion | 17 |
| Försäljning av gas | 18 |
| Förädling av gasen till trafikbränsle | 19 |
| 5. Exempel: Biogasproduktion på mjölkgård | 20 |
| Stallgödsel som substrat | 20 |
| Vallväxter som substrat | 20 |
| Produktion av kraftvärme | 21 |
| Processvärme | 21 |
| Dimensionering av en biogasanläggning | 21 |
| Den producerade energins värme | 22 |

1. BIOLOGIN BAKOM BIOGASBILDNINGEN

Liksom redan namnet säger, är biogas en produkt av en biologisk process. I naturen bildas biogas bland annat i bottentyttjan på sjöar och kärr, i vommen på idisslare och över huvudtaget på ställen där organiskt material bryts ner utan närvaro av luft. Syrefria förhållanden är den mest centrala förutsättningen för att organiskt material skall kunna omvandlas till en brännbar gasblandning genom rötning. Biogasen består grovt taget till två tredjedelar av metan och till en tredjedel av koldioxid, gasen kan efter en enkel reningsprocess användas som bränsle i gaspannor för värmeproduktion eller brännas i en kraftvärmeanläggning för produktion av både värme och elektricitet (bild 1). Dessutom kan gasen förädlas till trafikbränsle.

Processens fyra steg

Bildningen av biogas indelas i fyra olika steg som sköts av olika mikroorganismer. De fyra stegen är: lösningssteget, syrabildningssteget, ättiksyra-steget och metanbildningssteget (figur 1). Vid lösningssteget löses lättlösliga beståndsdelar ur substratet i vatten, vid syrabildningssteget bildas genom bakteriernas ämnesomsättning enkla fettsyror som via mellansteget ättiksyra omsätts till metangas, koldioxid och vatten. Biogasbildningens fyra steg är inte tidsmässigt separerade från varandra utan pågår samtidigt i ett kontinuerligt förlopp.

| Ämne | % |
|------------------------------|---------|
| Metan, CH ₄ | 55-75 |
| Koldioxid, CO ₂ | 25-45 |
| Kolmonoxid, CO | 0-0,3 |
| Kväve, N ₂ | 1-5 |
| Väte, H ₂ | 0-3 |
| Svavelväte, H ₂ S | 0,1-0,5 |

Tabell 1. Biogasens genomsnittliga sammansättning

Vid det första steget, **lös-ningssteget** (hydrolys), sönderdelas kolhydraterna, fetterna och proteiner i utgångsmaterialet i enklare organiska föreningar som socker, fettsyror och aminosyror. Sönderdelningen sker med hjälp av enzymer som utsöndras av bakterier som klarar sig både med och utan syre (fakultativt anaeroba bakterier).



Bild 1. Med hjälp av en biogasanläggning kan en gård göra sig självförsörjande vad gäller energi. (Källa: JTI).

De mellanprodukter som bildats vid lösningssteget omvandlas i det så kallade **syrabildningssteget** (acidogenes) av syrabildande bakterier till enkla fettsyror (propionsyra, smörsyra, ättiksyra). Vid syrabildningssteget frigörs vätgas och koldioxid. Dessutom bildas små mängder mjölksyra och alkohol.

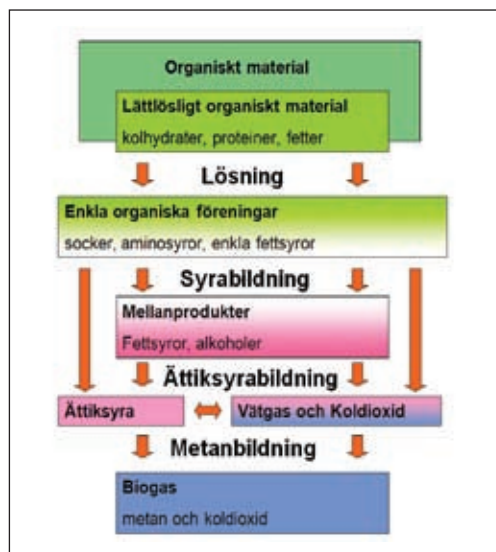
Vid nästa steg i biogasprocessen, **ättiksyra** (acetogenes), omsätts produkterna från de tidigare stegen av ättiksyrabildande bakterier till ättiksyra, vätgas och koldioxid. Vätgas är giftigt för de ättiksyrabildande bakterierna och därför är de beroende av att vätgasen tas omhand av metanbildande bakterier i följande steg i biogasprocessen.

Det sista steget i biogasprocessen, **metanbildningen** (metanogenes) står de metanbildande bakterierna för. Metan bildas utgående från ättiksyra, vätgas och etanol

Metanbildande bakterier

De metanbildande bakterierna (bild 2) hör till gruppen arkebakter som är en av de äldsta livsformerna på vår jord. De härstammar från en tid då jordens atmosfär var en helt annan än vad den är idag. Många av de arkebakterier som lever idag är anpassade till extrema livsmiljöer som höga temperaturer eller höga salthalter. Gemensamt för alla metanbildande arkebakterier är att de över huvudtaget inte tål syre (obligat anaeroba).

De bakterier som deltar i de olika stegen i bildningen av metangas mår bäst under litet olika miljöbetingelser i fråga om syrehalt, temperatur, och pH-värde. De metanbildande bakterierna är de som är allra mest kräsna och är också de som föredrar sig långsammast. Av den här anledningen brukar man i biogasanläggningar där de fyra processstegen sker om varandra i en och samma rötchammare anpassa förhållandena enligt de metanbildande bakteriernas behov.



Figur 1. Bildningen av biogas indelas i fyra olika steg som sköts av olika mikroorganismer. Metanbildningen sker via flera olika mellanprodukter som bildas som resultat av de deltagande bakteriernas ämnesomsättning. Den viktigaste ruttan för metanbildningen går via mellanprodukten ättiksyra.

Syre

För de metanbildande bakterierna är syre ett dödligt gift redan i låga koncentrationer. Trots att man vid drift av en biogasanläggning strävar till att undvika att släppa syre i kontakt med materialet kommer vid praktisk drift ändå alltid små mängder syre in i rötchammaren. Så länge som mängderna är små utgör det här inte ett problem eftersom syre i låga koncentrationer kan konsumeras av fakultativt anaeroba bakterier som deltar i de första stegen av biogasbildningen.

Temperatur

Ju högre temperatur, desto snabbare sker i allmänhet kemiska och biologiska reaktioner. Det här gäller också för bildningen av biogas, men inom de gränser de deltagande bakterierna klarar av. De metanbildande processer som sker i votten på nötkreatur arbetar under en annan temperatur och i en helt annan takt än de som sker på botten av ett finskt kärr. Gasbildningen i kärret sker mycket långsamt under vintern och snabbare på sommaren då temperaturen är högre.

Till skillnad från vad som är fallet vid kompostering bildas ingen värme under biogasprocessens gång, kompostering sker i närvaro av syre och är egentligen en långsam och ofullständig förbränning av materialet. Rötning sker utan syre och därför kan heller ingen värmealstrande förbränning ske.

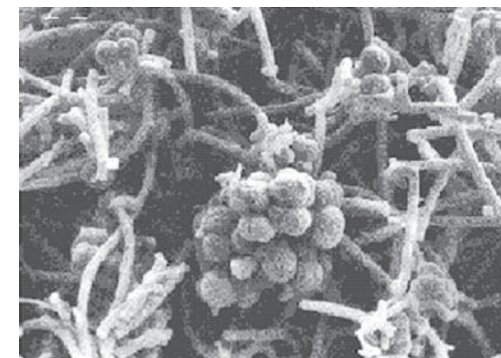


Bild 2. Olika metanbildande bakterier sedda genom elektronmikroskop. De runda bakterierna hör till släktet *Methanosarcina* medan de trådliknande hör till släktet *Methanothrix*. De korta böjda stavformiga bakterierna är de som står för bildningen av svavelväte.

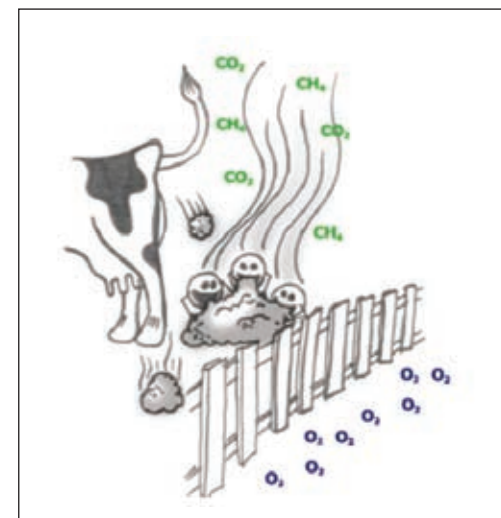
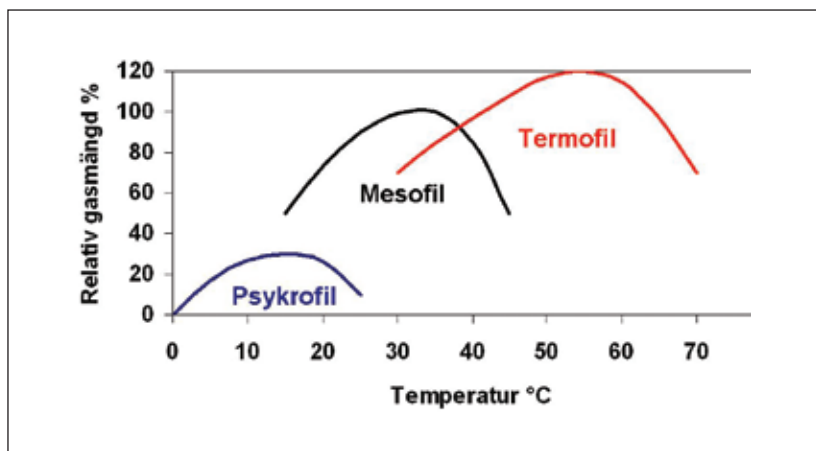


Bild 3. En av de viktigaste förutsättningarna för att biogasprocessen skall fungera är att man lyckas hålla syret bakom staketet.



Figur 2. Mängden gas som kan utvinnas ur ett substrat ökar med stigande temperatur, nedbrytningen sker snabbare och blir mer fullständig.

För upprätthållande av en biogasprocess i ett kallt klimat behövs ett tillskott av värmeenergi, i våra klimatförhållanden måste röttkammaren aktivt värmas för att önskad driftstemperatur och därigenom en hyfsad gasproduktion skall kunna upprätthållas.

Biogasprocesser indelas enligt de temperaturintervall under vilka de arbetar (figur 2). Metanbildande processer som sker vid en temperatur lägre än 25°C kallas *psykrofila*, metanbildning av den här typen sker långsamt och gasutbytet blir rätt lågt, gasbildning enligt den här kategorin förekommer naturligt bland vassrötterna vid varje finsk strand. Metanbildande processer som arbetar under temperaturintervallet 32-42°C kallas *mesofila*. De flesta biogasanläggningar arbetar inom det här temperaturintervallet som är det samma som gäller för bakterierna i husdjurens matsmältningskanal. Biogasutbytet vid mesofila processer är bra och dessutom är processen lätt att hålla stabil, om basmaterialet som skall rötas är djurgödsel ligger det mesofila temperaturområdet nära till hands.

Termofil rötning, dvs. rötning inom temperaturintervallet 50 - 57 °C kan vara ett bra alternativ om livsmedelsavfall eller slakteriavfall som inte härstammar från den egna gården skall rötas. Vid termofil rötning tar det bara hälften så lång tid för materialet att bli utrötat som vid mesofil rötning, gasutbytet blir dessutom en del större. På minussidan å andra sidan är att termofila biogasprocesser är mer känsliga för störningar än mesofila. Dessutom blir energiförbrukningen pga. den högre driftstemperaturen större vid termofila processer.

pH-värde

De bakterier som deltar i de olika skedena av biogasprocessen har olika pH -områden inom vilka de trivs bäst. De hydrolyserande och syrabildande bakterierna trivs bäst klart på den sura sidan (pH 4,5 - 6,3). De här bakterierna kan ändå leva vid neutrala förhållanden, deras aktivitet blir då enbart något nedsatt. Bakterierna som deltar i det tredje och fjärde skedet av biogasbildningen, dvs. ättiksyrabildningen och metanbildningen, kräver däremot neutrala förhållanden (pH 6,8 - 7,5).

Under normal drift av röttningsprocessen brukar röttkammarens pH-värde hålla sig kring 7, men vid tillsats av för mycket substrat per tidsenhet hinner de metanbildande bakterierna inte ta hand om all den syra de syrabildande bakterierna producerar. Följden av det här är att processens pH värde sjunker vilket i sin tur hämmar ämnesomsättningen hos de metanbildande bakterierna. Om röttningsprocessen blir sur måste tillförseln av substrat stoppas för att ge de metanbildande bakterierna tid att omvandla syran till metan och därigenom få processen att återhämta sig.

Näringsämnen

En lämplig sammansättning av fodret är en förutsättning för all djurhushållning, detsamma gäller också för bakterierna som gör jobbet i en röttkammare. Speciellt viktigt är att förhållandet mellan kol och kväve i substratet är lämpligt. Om substratet innehåller för mycket kol vilket kan vara fallet då enbart växtprodukter rötas leder det till att en stor del av biogasproduktionspotentialen i materialet förblir outnyttjad. Om förhållandet däremot är det motsatta, dvs. att substratet innehåller för mycket kväve i relation till kol kan ammoniak börja bildas vilket i sin tur kan leda till att hela biogasbildningsprocessen kollapsar. Vid rötning av enbart kväverik gödsel som höns- eller svingödsel finns risk för att kvävehalten blir för hög. Förhållandet mellan kol och kväve i substratet skall vara cirka 20:1 (10-30:1). Det här betyder att materialet som matas in i biogasanläggningen skall innehålla ungefär 20 gånger så mycket kol som kväve för att processen skall fungera bra.

Hämmande ämnen

Vilket som helst ämne som ingår i det substrat som tillförs röttkammaren kan i princip i alltför hög koncentration verka hämmande på biogasbildningsprocessen, alldeles speciellt gäller det här för antibiotika och desinficeringsmedel, herbicider, salter och tungmetaller som redan i mycket låga koncentrationer kan skada processen. Förutom ämnen som tillförs med substratet kan produkter av de deltagande bakteriernas egen ämnesomsättning i alltför höga koncentrationer verka inhiberande på processen, exempel på det här är bildning av ammoniak och svavelväte.



Bild 4. Tack vare ett gott pris för den producerade elenergin lönar sig elproduktion via biogas i Tyskland med odlade grödor som huvudsakligt råmaterial.

2. BIOGASBILDNINGEN I PRAKTIKEN

Biogasråvaror

I princip kan allt organiskt material rötas, men tekniken passar bäst för material som lätt kan brytas ner. Inom lantbruket handlar det främst om stallgödsel samt grödor som vall, säd, rotfrukter, majs och blast. Bioavfall, pressrester från produktion av biodiesel och avfall från livsmedelsindustrin är också utmärkta råvaror om sådana finns tillgängliga. Substrat som innehåller mycket fiber och lignin som trä eller halm lämpar sig dåligt för rötning. Nästan all biogas som produceras i Finland idag utvinns ur avstjälpningsplatser och ur kommunala avloppsvattensreningsverk.

I landets alla ett halvt dussin lantbruksanläggningar är stallgödsel den huvudsakliga råvaran. I Tyskland används förutom stallgödsel stora mängder åkergrödor och då framför allt majs vid produktionen av biogas (Bild 4). Tack vare det goda priset för grön el finns i Tyskland en installerad elproduktionskapacitet via biogas motsvarande ett kärnkraftverk eller cirka 1TW. Den goda lönsamheten hos de tyska biogasanläggningarna bygger helt på att priset för grön el är subventionerat.

Hygienisering av substrat

Gödsel och åkergrödor behöver inte värmebehandlas innan de inmatas i en biogasanläggning, Råvara som innehåller animaliska beståndsdelar som bioavfall eller slakteriavfall bör däremot värmebehandlas innan materialet får användas som substrat för biogasproduktion. I fråga om matavfall och biprodukter från livsmedelsindustrin räcker det med en upphettning av materialet till 70°C under en timmes tid.

När det gäller rötning av självdöda eller slaktade sjuka djur eller överhuvudtaget material som kan vara behäftat med sjukdomsalstrare måste materialet steriliseras innan det får matas i en biogasanläggning. Sterilisering betyder i praktiken att materialet skall upphettas till 133 °C under 3 bars tryck i 20 minuters tid. Värmebehandlat material bör avkylas innan det matas in i biogasanläggningsrötkammare, alltför varmt material skadar rötningsprocessens biologi.

Gasutbyte och -kvalitet

Utbytet av biogas från ett substrat beror på substratets sammansättning (tabell 2). Eftersom olika rötbara material innehåller olika mycket vatten räknar man ut materialets biogaspotential enligt substratets innehåll av torrsubstans. Torrsubstansen är kring 10 % i flytgödsel medan den är kring 35 % i klöverensilage. Halten av torrsubstans begränsas i våtröttningsanläggningar främst av det faktum att mycket trögflytande massor är svåra att hantera och flytta. För att processen skall fungera praktiskt bör materialet vara pumpbart.

Substrat som innehåller mycket fett och protein ger en högre metanhalt och därigenom ett högre värmevärde på gasen än material som innehåller mycket kolhydrater. Vid rötning av slakteriavfall, matrester eller flytgödsel blir den producerade biogasens metanhalt högre än vid rötning av åkergrödor som vallväxter eller majs (tabell 2). Genom finfördelning av fiberrika substrat förbättras gasutbytet, finfördelningen gör substratet mer tillgängligt för bakterierna.

Mesofil rötning av enbart flytgödsel ger sällan mer än 1 m³ biogas per kubikmeter rötkammarvolym och dag. Om blandningen innehåller mer energirika material som vallgrödor, sockerbetor och matavfall kan man få ut 2-3 m³ biogas per kubikmeter rötkammarvolym och dygn.

| Material | Biogasproduktion m ³ /ton våtvikt | Gasens metanhalt % |
|----------------|--|--------------------|
| Slakteriavfall | 250 | 70 |
| Bioavfall | 150-250 | 65 |
| Åkerbiomassa | 50-250 | 55 |
| Svingödsel | 25-35 | 65 |
| Nötgödsel | 15-25 | 60 |

Tabell 2. Metanhalt och gasutbyte av olika substrat.

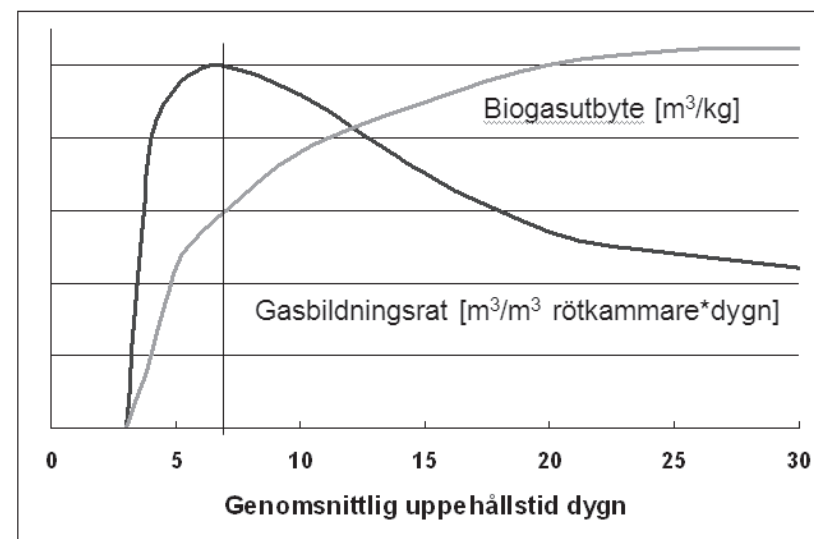
Den mest problematiska beståndsdel i biogasen är svavelväte, detta trots att dess andel av gasen brukar vara på en nivå motsvarande en bråkdel av en procent. Svavelväte är den gas som ger gasbubblorna som stiger upp ur botten på en sumpig strand sin karakteristiska lukt. För att undvika korrosionsskador på motorer och gaspannor måste svavlet fällas ut ur gasen. I sin enklaste form sker utfällningen av svavelvätet genom en inblandning av cirka 3 % luft i biogasen. Utfällningen av svavelvätet sker genom en biologisk process där bakterien *Sulfobacter oxydans* oxiderar svavelvätet till elementärt svavel. Bakterierna finns överallt och behöver därför inte tillsättas, för att utfällningen skall fungera effektivt behövs ytor där *Sulfobacter oxydans* kan leva. Lämpliga växtunderlag för bakterien är träkonstruktioner i röt-kammarens tak eller i gaslagret eller träbitar i en separat för avsvavling konstruerad behållare.

Uppehållstid

Då man bygger en biogasanläggning måste man kompromissa mellan investeringskostnadens storlek å ena sidan och utrottningsgraden av materialet å andra sidan. En fullständig utrotning av substratet kräver en lång uppehållstid för materialet i röt-kammaren och därigenom en stor röt-kammarvolym, vilket gör investeringen dyrare.

På grund av att materialet i en biogasanläggning ständigt blandas om är det omöjligt att veta hur länge en enskild vattenmolekyl befinner sig i röt-kammaren, den genomsnittliga uppehållstiden för materialet kan man ändå beräkna mycket enkelt. Uppehållstiden för materialet i en röt-kammare är definierad som röt-kammarens volym dividerad med volymen av det dagligen tillförda substratet. Vid rötning av enbart stallgödsel brukar man använda sig av en uppehållstid på cirka en månad. Med åkergrödor som substrat krävs i allmänhet en något längre uppehållstid för att materialet skall hinna bli ordentligt utrotat. Bioavfall och matrester hinner däremot bli utrotat på ett par veckor.

Ju mer substrat som per dygn matas in i en röt-kammare, desto kortare blir uppehållstiden. De metanbildande bakterierna som deltar i biogasbildningen förökar sig relativt långsamt. Om man matar en röt-kammare med klart mer material än vad som är lämpligt för dess storlek riskerar man att utspolningen av metanbildande bakterier blir större än återväxten. Vid överbelastning av en röt-kammare blir dessutom nedbrytningsgraden av materialet dålig (figur 3).



Figur 3. Den maximala gasproduktionen med en viss röt-kammare uppnås vid rätt kort uppehållstid medan den maximala utrotningen av ett substrat nås vid en lång uppehållstid. Om den genomsnittliga uppehållstiden är kortare än cirka 7 dygn kommer biogasprocessen att kollapsa på grund av alltför stor utsköljning av metanbildande bakterier.

Röt-kammarbelastning

Som mått på hur mycket material man kan tillföra en röt-kammare per tids-enhet används begreppet röt-kammarbelastning. Röt-kammarbelastningen definieras som mängden organiskt material som tillförs röt-kammaren per dygn dividerat med röt-kammarens storlek.

Den maximala storleken på den röt-kammarbelastning som kan användas bestäms av egenskaperna hos det material som skall rötas. Med lätt nedbrytbart material kan högre röt-kammarbelastning användas än med svårt nedbrytbart material. Rötning av matavfall eller vallgrödor tillåter en högre röt-kammarbelastning än rötning av djurgödsel eller halm. En biogasanläggning klarar med flytgödsel som substrat cirka 3 kg organiskt material per kubikmeter röt-kammarvolym och dygn. Med vallgrödor kan en röt-kammarbelastning på cirka 6 kg organiskt material per kubikmeter och dygn användas.

Ombländning

För att en hög biogasproduktion skall uppnås måste bakterierna som gör jobbet i biogasprocessen komma väl i kontakt med materialet som skall rötas. Det här arrangeras genom omrörning av materialet i rötkammaren. Utan omrörning sker en skiktning av materialet så att huvuddelen av bakteriemassan samlar sig i närheten av botten på rötkammaren medan det mesta substratet samlar sig nära ytan. Trots att en välfungerande omrörning av materialet är nödvändig, gäller det ändå att inte röra om för mycket och för våldsamt. Orsaken till det här är att de ättiksyrabildande bakterierna och de metanbildande bakterierna lever i ett symbiotiskt förhållande till varandra. Vid de ättiksyrabildande bakteriernas ämnesomsättning bildas vätgas som är giftigt för dem, genom att metanbildande bakterier lever omedelbart in på de ättiksyrabildande bakterierna kan vätgasen tas omhand av de metanbildande bakterierna som i sin tur omvandlar vätgasen till metan.

Rötrest

All den näring som finns i det material som matas in i rötkammaren finns efter biogasprocessen kvar i restprodukten, rötresten, som alltså är ett värdefullt gödselmedel. Näringsinnehållet i rötresten varierar bland annat beroende på vilket substrat som rötats, vilken typ av biogasprocess som använts och hur länge substratet varit i rötkammaren. Att röta stallgödsel och sprida rötresten på åkrarna istället för att sprida gödseln direkt ger flera fördelar. När gödsel rötas omvandlas, eller mineraliseras, en stor del av det organiskt bundna kvävet till ammoniumkväve som växterna lättare kan ta upp. Att röta gödsel medför att urlakningen av kväve från jordbruksmarken blir mindre, dessutom minskar rötningen lukten hos gödseln. Flytande rötrest har ungefär samma torrsubstanshalt som flytgödsel och kan spridas med samma teknik. Rötresten från torrötningsanläggningar är i fast form och sprids på samma sätt som fastgödsel. För spridning av rötrest på åkermark gäller samma tidsbestämmelser som för spridning av stallgödsel.

Gödselproduktion på gård med 150 mjölkkor

- 150 mjölkkor + rekrytering producerar ca 10 000 kg flytgödsel/dygn
- 10 000 kg flytgödsel = 10 m³
- Flytgödseln innehåller cirka 10 % torrsubstans
- Ca 80 % av torrsubstansen är organiskt material

Mängd organiskt material

10 000 kg/dygn x 10 % x 80 % = 800 kg/dygn.

Vi antar att gården med 150 mjölkkor har en biogasanläggning med en rötkammarvolym på 300 m³. Anläggningens rötkammarbelastning och uppehållstid blir följande:

Rötkammarbelastning

800 kg organiskt material per dygn/300 m³ rötkammarvolym = 2,67 kg organiskt material/m³ rötkammarvolym och dygn.

Upphållstid

300 m³ rötkammarvolym/10 m³ flytgödsel per dygn = 30 dygn.

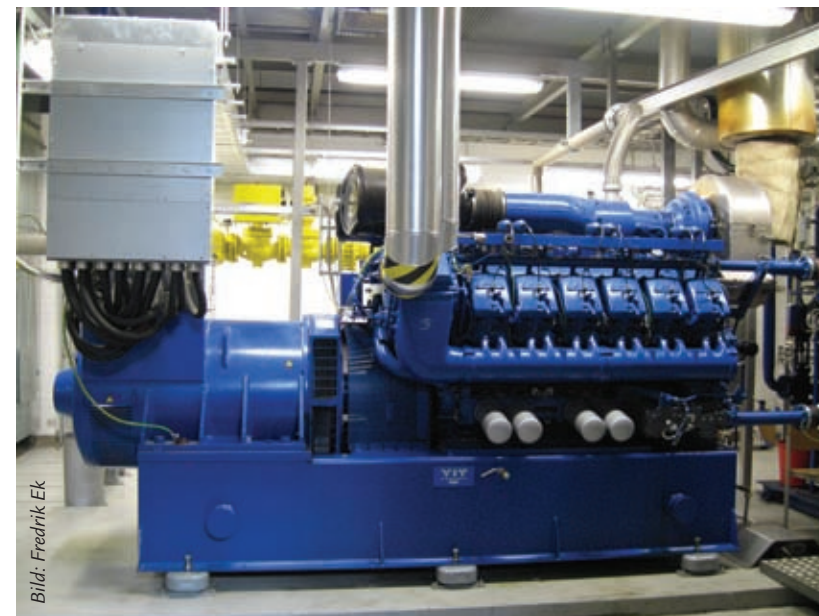


Bild: Fredrik Ek

Bild 5. Mest biogaselektricitet görs vid avstjälpningsplatser och reningsverk. Bilden från reningsverket i Tammerfors.

3. ANLÄGGNINGSTEKNIK

Spontan metanbildning

Biogas produceras idag med ett nästan gränslöst antal olika system. Orsaken till det här är att metanbildning ur biomassa är en process som spontant sker i naturen nästan överallt där det finns organiskt material och där det råder mer eller mindre syrefria förhållanden. Knyter man väl ihop en soppåse som innehåller matrester börjar det efter en tid bildas metangas i påsen.

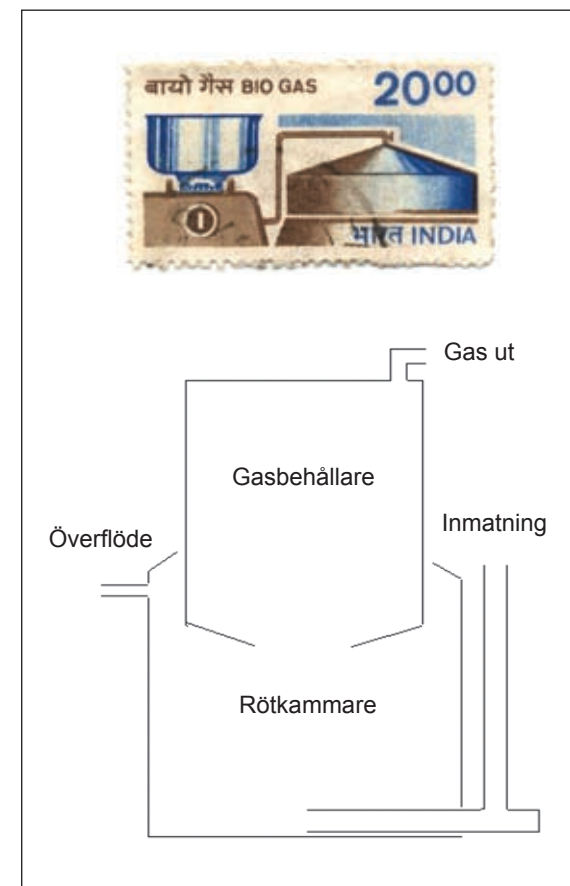


Bild 6. I Asien finns cirka 10 miljoner enkla biogasanläggningar i drift. Gasen används främst som energikälla vid matlagning.

Enkla biogasanläggningar

I Indien och Kina finns sammanlagt cirka 10 miljoner enkelt konstruerade småskaliga biogasanläggningar som producerar gas för matlagning på gas-spisar. Röt-kammaren består där av två gastäta kärl som är placerade inn-anför varandra, det undre och aningen större kärlet är öppet uppåt medan det övre och aningen mindre kärlet är öppet neråt (figur 4). Mellanrummet mellan botten i de två kärlen är fyllt med en blandning av vatten och gödsel eller matrester. Vid nedbrytningen av materialet bildas biogas som samlas under det upp och nedvända övre kärlet som fungerar som en gasklocka. Den producerade gasen leds från toppen av gasklockan genom en slang in till köket där den används som energikälla för matlagning.

För att de här anläggningarna skall fungera ordentligt krävs att materialet som skall rötas fin-fördelas innan det matas in till proces-sen, dessutom krävs att klimatet är lämpligt varmt. Trots att man i Indien har betydligt varmare vintrar än vad vi har här fungerar de här enkla ouppvärmda och oisolerade anläggningarna dåligt under årets kallaste månader.



Figur 4. Enkel biogasanläggning.

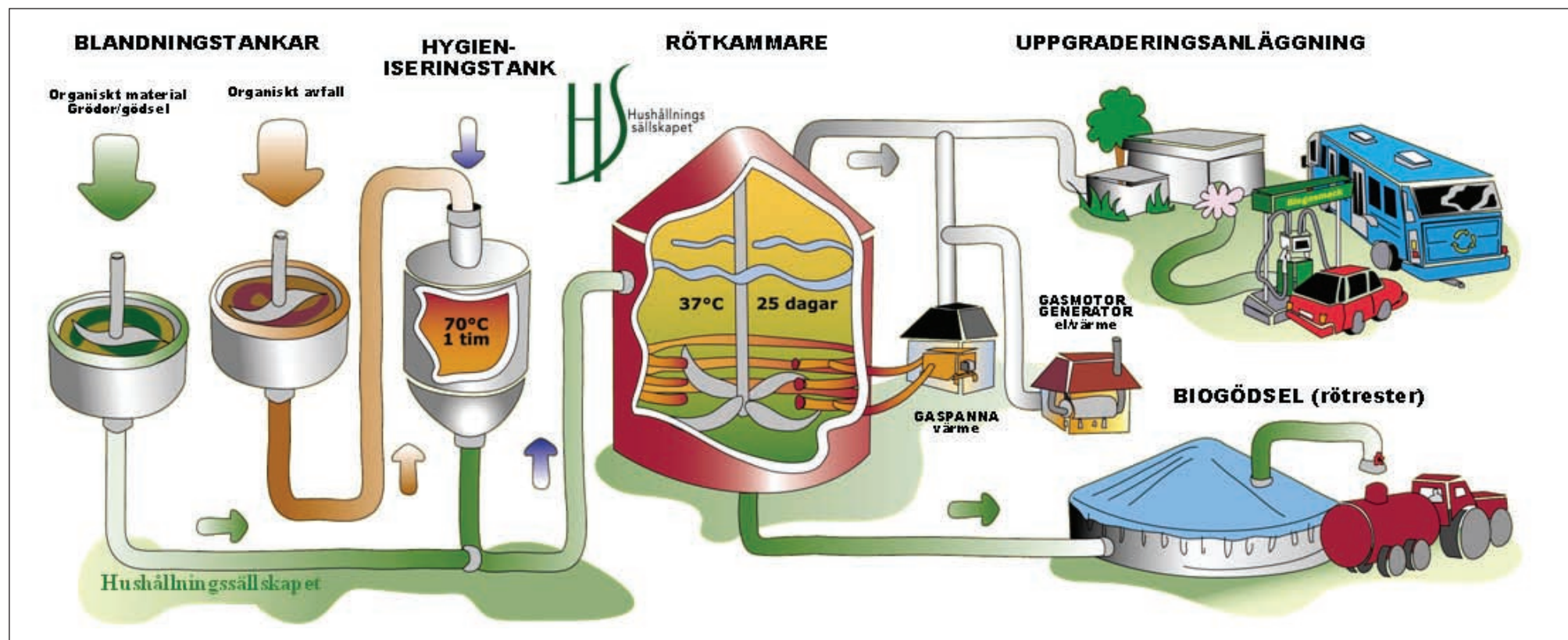
Våtröttningsanläggningar

Den mesta använda tekniken för biogasframställning i västvärlden bygger på en fortlöpande tillsats av rötsubstrat till en helomblandad rötterskåpa med pumpbart material (figur 5). Rötterskåpan är utformad som en cylindrisk behållare gjord av stål eller stålbetong och övertäckt med en vädertät gastät folie. I motsats till de enkla asiatiska anläggningarna är rötterskåpan isolerad och utrustad med omrörare och varmvattenslingor för uppvärmning. Tillförseln av material sker med några timmars intervall och därför måste material i jämn takt lämna rötterskåpan. Eftersom materialet som lämnar rötterskåpan fortfarande har en del biogasproduktionskapacitet kvar överförs det till ett gastätt rötterslager i väntan på spridning som gödsel på åker. Cirka 20 % av den totala biogasproduktionen sker i allmänhet i rötterslagret.

Torrrotning

Namnet torrrotning är missvisande såtillvida att torrrotningen liksom våtrötningen är helt beroende av vatten för att fungera. Våtröttningsprocesser arbetar med pumpbara material med en torrsubstanshalt på upp till cirka 15 %. Vid torrrotning använder man material som är stapelbara och har en torrsubstanshalt på cirka 30 %.

Torrrotningstekniken härstammar ursprungligen från avstjälpningsplatser där regnvatten som sipprat ner genom soporna har samlats upp och pumpats tillbaka över materialet. Genom ett sådant här förfarande kombinerat med gasutvinning ur massan har man kunnat minska de gasformiga utsläppen från avstjälpningsplatserna samt förkorta den tid under vilken gasbildningen

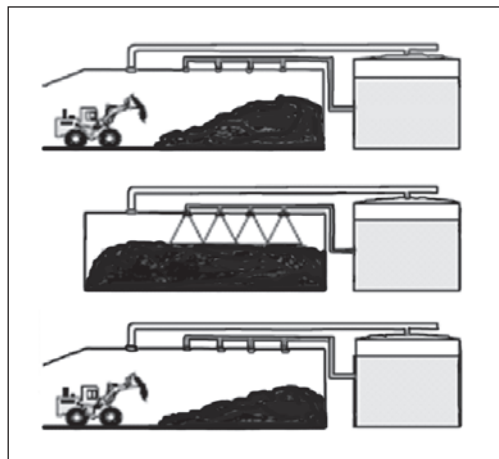


Figur 5. Den mest använda tekniken för biogasproduktion i västvärlden bygger på mesofil rötning i en helomblandad rötterskåpa. Den producerade gasen utnyttjas i allmänhet för kraftvärmeproduktion medan rötresten sprids som flytgödsel.

pågår. Huvuddelen av den biogas som produceras och används i Finland härstammar från avstjälningsplatser.

Vid torrötning pumpas man vatten över rötmaterialiet genom duschmunstycken i taket på en garageliknande rötkammare, vattnet och i vattnet lösta ämnen sipprar (perkolerar) sakta ner genom det stapelbara substratet. Från botten av rötkammaren samlas perkolatväska upp och pumpas via en perkolatväskebehållare tillbaka genom duschmunstyckena över materialet (figur 6).

För att perkolatväska skall fördelas jämnt över materialet i rötkammaren krävs att materialet har en relativt grov struktur. Samtidigt måste materialet vara finfördelat för att angreppsytan för bakterierna skall bli så stor som möjligt. De här båda kraven är motstridiga och i praktiken krävs vid torrötning en längre uppehållstid än vid våtrötning för att en ordentlig utrötning av materialet skall hinna ske. För att undvika en alltför stor komprimering av materialet längst ner i substrathögen i rötkammaren måste höjden på substratet begränsas till cirka två meter. De flesta torröttningsanläggningar som finns idag är försöks- eller pilotanläggningar.



Figur 6. Stapelbara substrat kan rötas genom torrötning. Rötkammaren är ett lufttätt garageliknande utrymme utrustat med vattenspolningsanordningar och uppvärmningssystem.

4. GASENS ANVÄNDNING

Värmeproduktion

Det enklaste och billigaste sättet att utnyttja den producerade gasen är att bränna den i en gaspanna för produktion av varmvatten för uppvärmningsändamål – eller som man gör i Indien – använda gasen som energikälla i köket. Typiskt för gårdsbaserade biogasanläggningar är att energiproduktionen i anläggningarna mångfalt överskrider gårdens eget behov av värmeenergi, dessutom är behovet av värme under sommarhalvåret begränsat.

Kraftvärmeproduktion

Gårdsbaserade biogasanläggningar är i allmänhet byggda för produktion av både el och värme. Den mest allmänt använda lösningen för kraftvärmeproduktion bygger på förbränning av biogasen i en ottomotor eller i en för gasdrift konverterad dieselmotor. Motorn i sin tur driver ett elaggregat på ett konstant varvtal (1500 rpm) för att den producerade elenergin skall hålla samma frekvens som elnätet. I fråga om drift av rena gasmotorer (bild 7) sker tändningen av gasblandningen med tändstift, medan man vid drift av dieselaggregat tänder gasblandningen med hjälp av liten mängd diesel för varje cylinderfyllning. Dieselåtgången motsvarar vid de här anläggningarna ungefär 10 % av den mängd som skulle gå åt vid ren dieseldrift, eller ungefär det som åtgår vid tomgångskörning av motorn.

Andra möjliga lösningar för kraftvärmeproduktion är drift av mikrogasturbiner eller stirlingmotorer. Stirlingmotorer är kolmotorer med extern förbränning och borde i princip klara sig med mycket mindre service och hålla längre än motorer med intern förbränning. Stirlingmotorer tenderar ändå vara utrymmeskrävande och dyra och används därför inte allmänt. Mikrogasturbiner är däremot på kommande i biogassammanhang. I en gasturbin finns det en enda rörlig del och därför kan de hålla länge och klara sig med väldigt litet service. Dagsläget är



Bild 7. Större biogasanläggningar använder oftast stora ottomotorer vid generering av elektricitet

ändå det att mikroturbiner är dyrare än motsvarande kolmotorer och tenderar arbeta med en något sämre mekanisk verkningsgrad.

Tack vare god mekanisk verkningsgrad och lågt pris är kolmotorer med intern förbränning idag den överlägset mest använda lösningen vid småskalig kraftvärmeproduktion. Kolmotorerna representerar dessutom en mycket etablerad teknik som alla som har med maskiner att göra är bekanta med. Trots att kolmotorkonceptet är välfungerande är det också förknippat med en hel del nackdelar. En kolmotor innehåller många rörliga delar som slits och i och med att förbränningen sker internt ställs höga krav på renheten hos det använda bränslet. En kolmotor är beroende av ofta återkommande service i form av oljebyten och liknande. Dessutom slits motorerna ut rätt snabbt, efter cirka fem års kontinuerlig drift krävs totalrenovering eller alternativt utbyte av motorn.

En förbränningsmotor som drivs med biogas klarar av att omvandla ungefär 30 % av biogasens energiinnehåll till elenergi, resten blir värme. Stora gas- och dieselmotorer kan arbeta med en elverkningsgrad på över 40 %, men vid biogasdrift körs motorerna på mager blandning för att undvika produktion av kväveoxider. Körning på mager blandning sänker motorns verkningsgrad. Den största delen av biogasens energiinnehåll omvandlas vid kraftvärmeproduktion till värme.

Biogasanläggningar med kraftvärmeproduktion använder motorns spillvärme som värmekälla för uppvärmning av biogasanläggningen och oftast också för uppvärmning av närbelägna byggnader. Framför allt under sommaren då avsättning för värme är svår att ordna blir en stor del av värmeproduktionskapaciteten i allmänhet outnyttjad. Trots att cirka dubbelt så mycket värme som el produceras vid kraftvärmeproduktion brukar man räkna med att ungefär lika många kilowattimmar värme som elektricitet kan utnyttjas utanför anläggningen. Under vintern åtgår betydande mängder värmeenergi till uppvärmning av nytt substrat som matas in i röt-kammaren och till uppvägande av röt-kammarens värmeförluster.

Försäljning av gas

Lantbruk brukar vara belägna rätt långt från samhällen där den producerade värmeenergin skulle kunna avsättas. Att bygga långa kulvertdragningar är dyrt och leder dessutom till stora värmeförluster. Transport av biogasen i rörledningar till förbrukningspunkten istället för transport av elektricitet och värme är rent energimässigt vettigt, gas som är energi i kemisk form har bättre lagrings- och transportegenskaper än värme som är energi i fysikalisk form. Att gräva ner en gasledning är dessutom billigare än att gräva ner kulvertar. I andra ändan av gasröret kan en närvärmepanna eller en för en hel by gemensam kraftvärmeanläggning finnas. Biogasanläggningens ägare kan välja mellan att sälja den producerade gasen till energianläggningen i det närbelägna samhället eller att själv driva anläggningen.

Förädling av gasen till trafikbränsle

Ett annat sätt att utnyttja den producerade biogasen är att uppgradera den till fordonsgas (bild 8). Vid uppgradering av biogas renar man först gasen från svavelväte och partiklar varefter man separerar koldioxiden från gasen. Koldioxid är i sig inte en skadlig komponent och behöver inte avlägsnas från gasen om den bränns i en gaspanna eller i en kraftvärmeanläggning. Orsaken till att man vid förädling av biogas till fordonsgas strävar till att bli av med så mycket som möjligt av koldioxiden är att den har en utspädande effekt på gasen, ju mer koldioxid som finns i biogasen, desto lägre blir gasens värmevärde.

Den vanligaste tekniken för att separera koldioxiden från metangasen bygger på att man får koldioxiden att lösa sig i vatten i en trycksatt vattenskrubber. Koldioxid och svavelväte löser sig båda lättare i vatten än metan. Praktiskt kan det här gå till så att man trycksätter gasen till cirka 10 bar och leder den uppåt genom en behållare fylld med fyllnadskroppar (exempelvis glasbitar eller bitar av koks) samtidigt som vatten spolats nedåt genom fyllnadskroppsbädden. På det här sättet får man nästan all koldioxid att lösa sig i vattnet och dessutom blir man av med det återstående svavelvätet. Då vattnet från skrubbern leds ut i det fria frigörs gaserna på nytt varefter vattnet kan återanvändas. Förutom vatten kan man i skrubberanläggningar använda speciella lösningsmedel och speciella kolbaserade fyllnadskroppar som gör separeringen av koldioxiden effektivare och tillåter användning av lägre tryck.

En nackdel med uppgraderingen är att förutom koldioxid och svavelväte också en del metan löser sig i vattnet. Innan den renade gasen kan användas som bränsle i fordon komprimeras den till ett tryck på cirka 200 bar. Gasen skall dessutom enligt rådande säkerhetsbestämmelser luktsättas. Biogas går att använda som fordonsbränsle också utan uppgradering, förutsatt att vatten och svavelväte avlägsnats ur gasen. På grund av att man vid körning på uppgraderad gas fraktar med sig kring 40 % koldioxid i gastuberna blir aktionsradien begränsad, dessutom blir det svårt att hålla koll på bildningen av kväveoxider vid gasens förbränning i motorn.



Bild 8. Erkki Kalmar, en av biogaspionjärerna i Finland tankar sin bil med förädlad biogas från gårdens egen biogasanläggning.

5. EXEMPEL: BIOGASPRODUKTION PÅ MJÖLKGÅRD

Stallgödsel som substrat

En mjölkko + rekrytering producerar cirka 65 kg gödsel per dygn. Gödselns innehåll av torrs substans är kring 10 % och cirka 80 procent av torrs substansen består av organiskt material. Vi antar att en gård (eller två gårdar) med 150 mjölkkor går in för att investera i en biogasanläggning och vill reda ut hur mycket energi som kan utvinnas ur gödseln. Med 150 mjölkkor blir mängden stallgödsel per dygn knappt 10 000 kg (150 x 65 kg). Om djuren går inomhus året om blir gödselmängden på årsnivå cirka 3650 ton. Mängden organiskt material i gödseln kan räknas ut enligt följande:

$$\begin{aligned} \text{Per dygn: } & 10\,000 \text{ kg} \times 10\% \times 80\% = 800 \text{ kg} \\ \text{Per år: } & 3\,650 \text{ ton} \times 10\% \times 80\% = 292 \text{ ton} \end{aligned}$$

Ett ton organiskt material från nötflytgödsel ger cirka 330 m³ biogas med en metanhalt på 60 %. Metanproduktionskapaciteten hos ett års gödsel från de 150 korna är följande:

$$292 \text{ ton} \times 330 \text{ m}^3 \text{ biogas/ton} \times 60\% \text{ metan} = 58\,000 \text{ m}^3 \text{ metan}$$

En kubikmeter metan innehåller ungefär lika mycket energi som en liter olja, dvs. 10 kWh. Energiinnehållet i den producerade biogasen är därför 580 000 kWh eller 580 MWh.

Vallväxter som substrat

Gården med sina 150 kor kunde öka sin energiproduktionspotential betydligt genom att förutom gödsel också gå in för att röta vallväxter i biogasanläggningen, men då måste en större anläggning byggas. Vi antar att det i närheten av gården finns 100 hektar odlingsmark utan vettig användning som får börja producera timotej och klöver för biogasanläggningen. Årsskorde av vallväxter antas vara 17 400 kg färskvikt/ha vilket motsvarar medeltalet i Finland. Vallens torrs substans ligger på 35 % och 90 % av torrs substansen antas vara organiskt material.

Mängden organisk torrs substans från hundra hektar blir:

$$100 \text{ ha} \times 17,4 \text{ ton/ha} \times 35\% \times 90\% = 548 \text{ ton}$$

Ett ton organiskt material i form av vallväxter ger cirka 550 m³ biogas med en metanhalt på 55 %. Metangasproduktionspotentialen på hundra hektar vallväxter blir härigenom:

$$548 \text{ ton} \times 550 \text{ m}^3 \text{ biogas/ton} \times 55\% \text{ metan} = 165\,770 \text{ m}^3 \text{ metan}$$

Energiinnehållet i 165 770 m³ metan motsvarar ungefär 1660 MWh kemisk energi eller knappt tre gånger så mycket som gödseln från de 150 korna gav.

Produktion av kraftvärme

Vill man omvandla biogasens energiinnehåll till elektricitet får man räkna med en verkningsgrad på cirka 30 % för ett gasmotordrivet elaggregat. Det här innebär att en knapp tredjedel av energiinnehållet i den producerade gasen kan omvandlas till elektricitet. Cirka 55 % av energiinnehållet blir värme medan 15 % går förlorat i form av resterande avgasvärme och strålningsförluster. Framför allt under vintern åtgår betydande mängder energi för uppvärmning av substratet som är på väg in i röt-kammaren och för uppvägande av röt-kammarens värmeförluster.

Processvärme

I ovanstående exempel med 150 mjölkkor och kraftvärmeproduktion åtgår cirka 130 000 kWh värme eller dryga 40 % av den producerade värmeenergin till processens upprätthållande. Det här motsvarar ungefär en femtedel av den producerade biogasens energiinnehåll. Då man rötar substrat med lägre vattenhalt och större biogaspotential än stallgödsel minskar andelen energi som går åt till att driva processen. Antar vi att man förutom gödseln också går in för att röta vallväxter från 100 hektar räcker knappt 10 % av energiinnehållet i den producerade gasen eller cirka 15 % av värmen från kraftgenereringen för att hålla processen igång.

Dimensionering av en biogasanläggning

Röt-kammarens storlek bestäms av mängden substrat som skall matas in i anläggningen samt av substratets egenskaper. Förutom mängden substrat bör man känna till vilken röt-kammarbelastning som kan användas och hur lång uppehållstid substratblandningen kräver. Vid mesofil rötning med flytgödsel som substrat klarar röt-kammaren en belastning på cirka 3 kg organiskt material per kubikmeter röt-kammarvolym och dygn medan uppehållstiden bör vara cirka fyra veckor. Vid rötning av enbart gödsel från 150 kor räcker en röt-kammarvolym på knappt 300 m³.

Vid rötning av vallväxter kan man använda en röt-kammarbelastning på cirka 6 kg organiskt material per kubikmeter röt-kammarvolym och dygn, uppe-

hållstiden bör då vara något längre än vid rötning av flytgödsel. Vid mesofil rötning av den blandning av flytgödsel och vallväxter som använts i det här exemplet behövs en uppehållstid på cirka 5 veckor. En lämplig storlek på rötkammaren är cirka 550 m³.

Den producerade energins värde

Vi antar att mjölkgården med 150 kor har en årlig elförbrukning på 160 000 kWh och en årlig oljeförbrukning för värmeproduktion på 10 000 liter, vilket med en pannverkningsgrad på 90 % ger ett värmebehov på 90 000 kWh. Med ett elpris på 7,6 cent per kWh landar elräkningen för ett år på dryga 12 000 €, medan oljeräkningen för 10 000 liter olja med ett skattefritt oljepris på 505 €/m³ ger en årlig oljekostnad på 5 050 €. Det sammanlagda priset för elektriciteten och uppvärmningsoljan som köps till gården per år landar på dryga 17 000 €.

Energiinnehåll

| | | |
|---------------------------|---|-----------------------|
| 1 m ³ metangas | = | 1 liter olja = 10 kWh |
| 1 m ³ biogas | = | ~ 6 kWh |
| 1 m ³ biogas | = | ~ 2 kWh elektricitet |

I exemplet med mjölkgården med sina 150 mjölkkor och rötning av stallgödsel räcker elenergin från gödseln just lagom till för att täcka det egna elbehovet. Däremot blir cirka 100 000 kWh värmeenergi över. Om man antar att all överloppsvärme kunde säljas till ett pris motsvarande kostnaderna för att köpa 10 000 liter olja som till sitt energiinnehåll motsvarar överloppsvärmen skulle det här ge en ytterligare inkomst på dryga 5 000 €. I praktiken är det här inte möjligt eftersom ingen vill köpa värme mitt i sommaren och dessutom blir det ofta för dyrt och förknippat med stora värmeförluster att dra kilometervis med kulvertledning för att transportera värmen dit som den behövs.

Biogasanläggningarnas stora framgång i Tyskland bygger helt på att man får ett bra pris per såld kilowattimme grön elektricitet. En tysk producent av biogasel får cirka 16 cent per såld kilowattimme, medan motsvarande siffra i Finland (september 2007) är kring 3,5 cent. De biogasanläggningar som idag är i drift i Finland lever till en stor del på såkallade portavgifter för biologiskt nedbrytbart avfall som hämtas till biogasanläggningen för behandling. För att det skall bli en hyfsad lönsamhet i finska biogasanläggningar krävs ett bättre pris för producerad elenergi, eller alternativt en stor marknad för biogas som förädlats till trafikbränsle.



Produktion av biogas på gården

Biogas är en produkt av en biologisk process. I naturen bildas biogas bland annat i botten-gyttjan på sjöar och kärr, i vommen på idisslare och över huvudet på ställen där organiskt material bryts ner utan närvaro av luft.

Biogasen består grovt taget till två tredjedelar av metan och till en tredjedel av koldioxid, gasen kan efter en enkel reningsprocess användas som bränsle i gaspannor för värme-produktion eller brännas i en kraftvärmean-läggning för produktion av både värme och elektricitet. Dessutom kan gasen förädlas till trafikbränsle.