

# TEMA: BIOGAS

## Biogas

Bioenergirådgivare Fredrik Ek  
ProAgria Svenska lantbrukssällskapens förbund

*Liksom redan namnet säger, är biogas en produkt av en biologisk process. I naturen bildas biogas bland annat i bottengyttjan 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 bränns i en kraftvärmelanläggning för produktion av både värme och elektricitet (bild 1). Dessutom kan gasen förädlas till trafikbränsle.*

### Biologin bakom biogasbildningen

#### 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.

Vid det första steget, **lös-ningssteget** (hydrolys), sönderdelas kolhydraterna, fetterna och proteinerna i utgångsmaterialet i enklare organiska föreningar som socker, fettsyror och aminosyror. Sönderdelningen sker med hjälp av enzymer som utsöndras av bakterier

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

Tabell 1. Biogasens genomsnittliga sammansättning



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

som klarar sig både med och utan syre (fakultativt anaeroba bakterier).

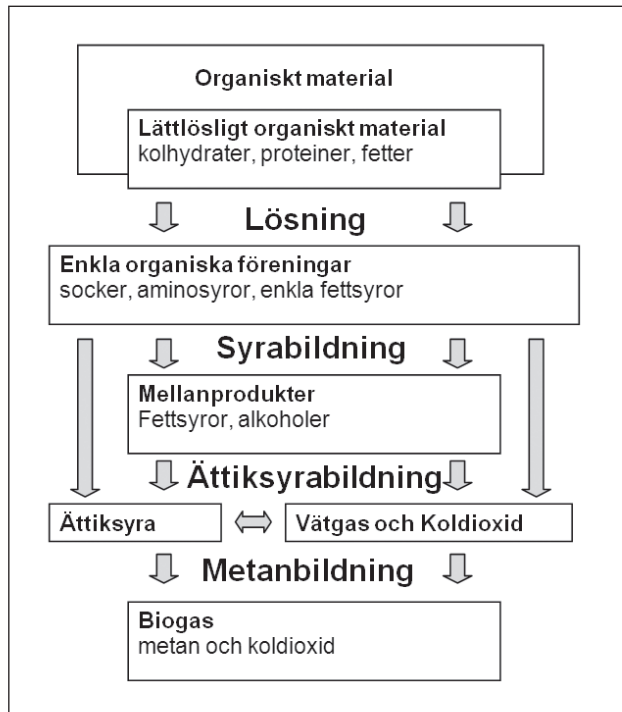
De mellanprodukter som bildats vid lösningssteget omvandlas i det så kallade **syrabildningssteget** (acidogenes) av syrabildande bakterier till enkla fettsyror (propionsyra, smörsyra, ättiksyra). Vid syrabildningssteget frigörs vätgas och koldioxid. Dessutom bildas små mängder mjölksyra och alkohol.

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, **metanbildning** (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



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.

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 förökar sig långsammast. Av den

här anledningen brukar man i biogasanläggningar där de fyra processtegen sker om varandra i en och samma rötkammare anpassa förhållandena enligt de metanbildande bakteriernas behov.

### 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

rötkammaren. 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 vommen 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 snabbar på under 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. För upprätthållande av en biogasprocess i ett kallt klimat behövs ett tillskott av värmeenergi, i våra klimatförhållanden måste rötkammaren aktivt värmas för att önskad drifttemperatur och därigenom en hyfsad gasproduktion skall kunna

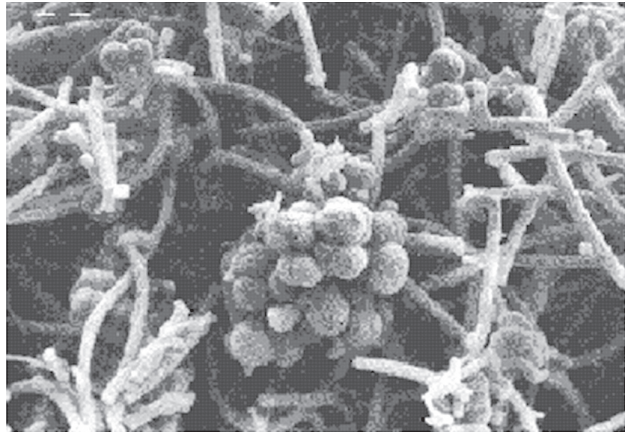


Bild 2. Olika metanbildande bakterier sedda genom elektronmikroskop. De runda bakterierna hör till släktet *Methanosarcina* medan de trådliknande hör till släktet *Methanotrix*. De korta böjda stavformiga bakterierna är de som står för bildningen av svavelväte.

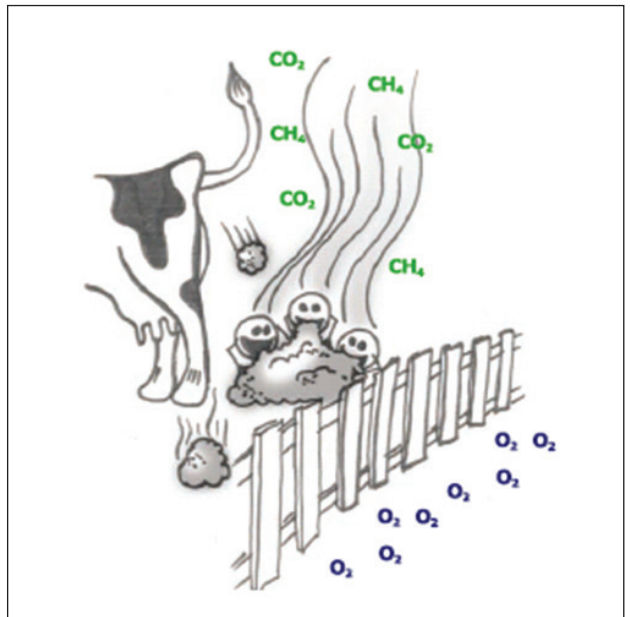


Bild 3. En av de viktigaste förutsättningarna för att biogasprocessen skall fungera är att man lyckas hålla syret bakom staketet.

upprätthållas.

Biogasprocesser indelas enligt de temperaturintervall under vilka de arbetar.

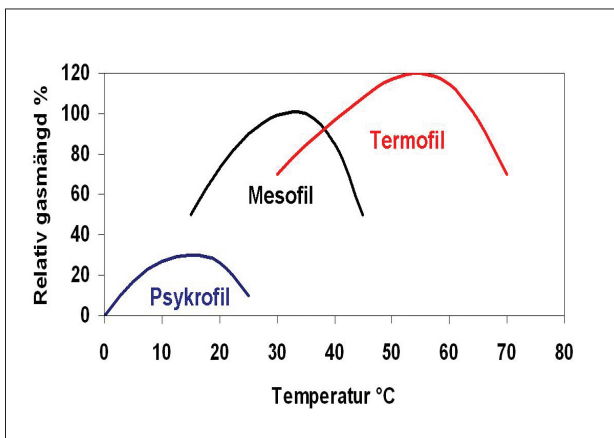
Metanbildande processer som sker vid en temperatur lägre än 25°C kallas *psykrofila*, metanbildning av den här typen sker lång-

samt 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 biogas-anläggningar 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 termofiltrötning 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.



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

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 rötningprocessen brukar röt-kammarens 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

rötningprocessen 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, det samma gäller också för bakterierna som gör jobbet i en röt-kammare. 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 röt-kammaren 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.

## 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 att tillgå. 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 avstjälningsplatser och ur kommunala avloppsvattensreningsverk.

I landets fem 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 installe-

rad 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



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

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 en biogasanläggnings rötkammare, 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 våtrötningsanläggningar 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 produce-

rade 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 kubikmeter biogas per kubikmeter rötkammarvolym och dag. Om blandningen innehåller mer energirika material som vallgrödor, sockerbetor och matavfall kan man få ut 2-3 kubikmeter biogas per kubikmeter rötkammarvolym och dag.

Den mest problematiska beståndsdelen 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 svavel fällas ut ur gasen. I sin enklaste form sker utfällningen av svavelvätet genom en in-

blandning 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 rötkammarens 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 utröttningsgraden av materialet å andra sidan. En fullständig utrötning av substratet kräver en lång uppehållstid för materialet i rötkammaren och därigenom en stor rötkammarvolym, vilket gör investeringen dyrare.

På grund av att materialet i en biogasanläggning ständigt blandas om är det omöjligt att veta hur länge en en-

Material m <sup>3</sup> / ton våtvikt	Biogasproduktion metanhalt %	Gasens
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.

skild vattenmolekyl befinner sig i röt-kammaren, den genomsnittliga uppehållstiden för materialet kan man ändå beräkna mycket enkelt. Upphållstiden 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 utrötat. Bioavfall och matrester hinner däremot bli utrötat 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).

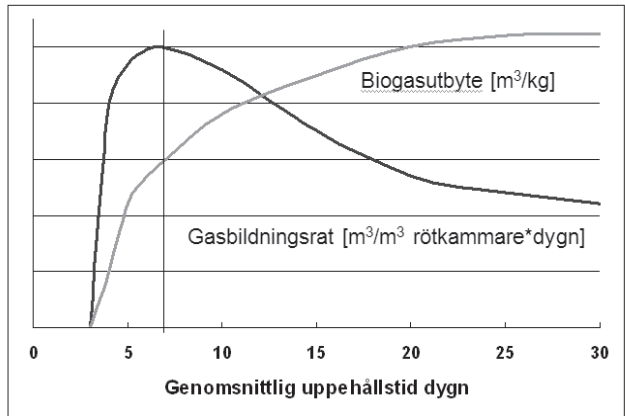
### Röt-kammarbelastning

Som mått på hur mycket material man kan tillföra en röt-kammare per tidsenhet 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.

### Omblandning

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 röt-kammaren. Utan omrörning sker en skiktning av materialet så att huvuddelen av bakteriernasamlar sig i närheten av botten på röt-kammaren 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



Figur 3. Den maximala gasproduktionen med en viss röt-kammare uppnås vid rätt kort uppehållstid medan den maximala utrötningen 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.

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 röt-kammaren 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 röt-kammaren. 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

## Gödselproduktion på gård med 150 mjölkkor

- 150 mjölkkor + rekrytering producerar cirka 10 000 kg flytgödsel per dygn.
- 10 000 kg flytgödsel = 10 m<sup>3</sup>
- 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 biogas-anläggning med en röt-kammarvolym på 300 m<sup>3</sup>. Anläggningens röt-kammarbelastning och uppehållstid blir följande:

## Röt-kammarbelastning

800 kg organiskt material per dygn/300 m<sup>3</sup> röt-kammarvolym = 2,67 kg organiskt material/m<sup>3</sup> röt-kammarvolym och dygn.

## Upphållstid

300 m<sup>3</sup> röt-kammarvolym/10 m<sup>3</sup> flytgödsel per dygn = 30 dygn.

gäller samma tidsbestäm- melser som för spridning av stallgödsel.

## 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.

### Enkla biogasanläggningar

I Indien och Kina finns sammanlagt cirka 10 miljoner enkelt konstruerade

småskaliga biogasanläggningar som producerar gas för matlagning på gasspisar. Röt-kammaren består där av två gastäta kärl som är placerade innanför 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.

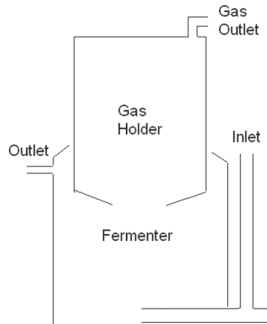


För att de här anläggningarna skall fungera ordentligt krävs att materialet som skall rötas finfördelas innan det matas in till processen, dessutom krävs att klimatet är lämpligt varmt. Trots att man i Indien har betydligt varmare vintrar än vad vi har här fungerar de här enkla oppvärmda och oisolerade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

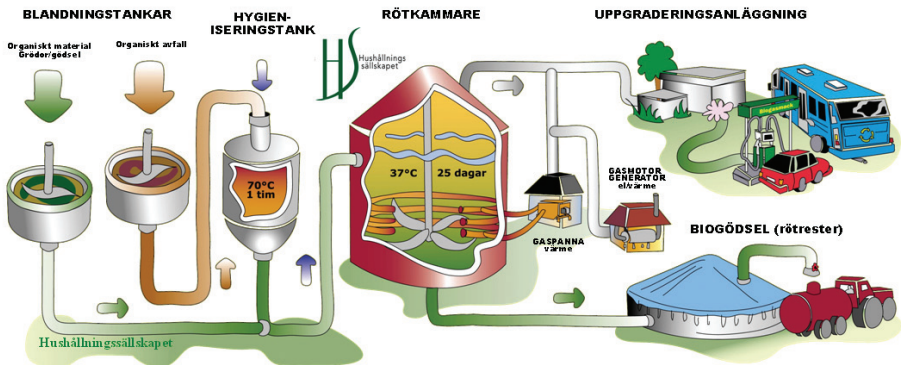


### Vårrottningsanläggningar

Den mesta använda tekniken för biogasframställning i västvärlden bygger på en fortlöpande tillsats av rötsubstrat till en helomblandad röt-kammare med pumpbart material (figur 5). Röt-kammaren är utformad som en cylindrisk behållare gjord av stål eller stålbetong och övertäckt med en vädertätlig gastät folie. I motsats till de enkla asiatiska anläggning-



Figur 4. I Asien finns cirka 10 miljoner enkla biogasanläggningar i drift. Gasen används främst som energikälla vid matlagning.



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

arna är röt-kammaren isole-rad och utrustad med omrö-rare och varmvattenslingor för uppvärmning. Tillförseln av material sker med några timmars intervall och därför måste material i jämn takt lämna röt-kammaren. Efter-som materialet som lämnar röt-kammaren fortfarande har en del biogasproduk-tionskapacitet kvar överförs det till ett gastätt rötrestlager i väntan på spridning som gödsel på åker. Cirka 20 % av den totala biogaspro-duktionen sker i allmänhet i rötrestlagret.

### **Torrötning**

Namnet torrötning är miss-visande såtillvida att torröt-ningen liksom våtrötningen är helt beroende av vatten för att fungera. Våtrötning-sprocesser arbetar med pumpbara material med en torrsbstanshalt på upp till cirka 15 %. Vid torrötning använder man material som är stapelbara och har en torrsbstanshalt på cirka 30 %.

Torrötningstekniken här-stammar ursprungligen från avstjälpningsplatser där regnvatten som sipp-rat ner genom soporna har samlats upp och pumpats tillbaka över materialet. Genom ett sådant här för-farande kombinerat med gasutvinning ur massan har man kunnat minska de gasformiga utsläppen från avstjälpningsplatserna samt

förkorta den tid under vilken gasbildningen pågår. Hu-vuddelen av den biogas som produceras och används i Finland härstammar från avstjälpningsplatser.

Vid torrötning pumpar man vatten över röt-materialet genom duschmunstycken i taket på en garageliknande röt-kammare, vattnet och i vattnet lösta ämnen sipp-rar (perkolerar) sakta ner genom det stapelbara sub-stratet. Från botten av röt-kammaren samlas perkolat-vätskan upp och pumpas via en perkolatväskebehållare tillbaka genom duschmun-styckena över materialet (figur 6).

För att perkolatväskan skall fördelas jämnt över materialet i röt-kammaren krävs att materialet har en relativt grov struktur. Sam-tidigt 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 uppe-hållstid 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 röt-kammaren måste höjden på substratet begränsas till cirka två meter. De flesta torr-rötning-anläggningar som finns idag är försöks- eller pilotanläggningar.

## **Gasens användning**

### **Värmeproduktion**

Det enklaste och billigaste sättet att utnyttja den pro-ducerade gasen är att brän-na den i en gaspanna för produktion av varmvatten för uppvärmningsändamål – eller som man gör i In-dien – använda gasen som energikälla i köket. Typiskt för gårdsbaserade biogas-anläggningar är att energi-produktionen i anläggning-arna mångfalt överskrider gårdens eget behov av vär-meenergi, dessutom är be-hovet av värme under som-marhalvåret begränsat.

### **Kraftvärmeproduktion**

Gårdsbaserade biogasan-läggningar 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 el-energin skall hålla samma frekvens som elnätet. I fråga om drift av rena gasmotorer (bild 5) sker tändningen av gasblandningen med tänd-stift, medan man vid drift av dieselaggregat tänder gas-blandningen med hjälp av liten mängd diesel för varje cylinderyllning. Dieselåt-gången motsvarar vid de här anläggningarna unge-

får 10 % av den mängd som skulle gå åt vid ren diesel-drift, eller ungefär det som åtgår vid tomgångskörning av motorn.

Andra möjliga lösningar för kraftvärmeproduktion är drift av mikrogasturbiner eller stirlingmotorer. Stirlingmotorer är kolvmotorer 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 utrymneskrävande 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 ändå det att mikroturbiner är dyrare än motsvarande kolvmotorer och tenderar arbeta med en något sämre mekanisk verkningsgrad.

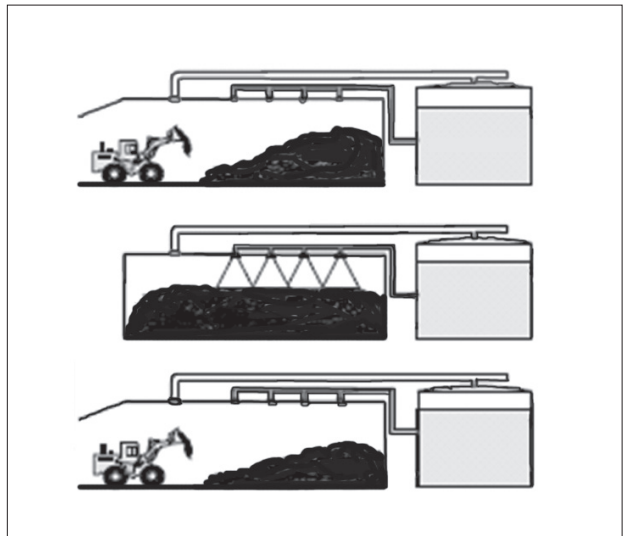
Tack vare god mekanisk verkningsgrad och lågt pris är kolvmotorer med intern förbränning idag den överlägset mest använda lösningen vid småskalig kraftvärmeproduktion. Kolvmotorn representerar dessutom en mycket etablerad teknik som alla som har med maskiner att göra är bekanta med. Trots att kolvmotorkonceptet är välfungerande är det också förknippat med en hel del nackdelar. En kolvmotor innehåller många rör-

liga delar som slits och i och med att förbränningen sker internt ställs höga krav på renheten hos det använda bränslet. En kolvmotor är beroende av ofta återkommande service i form av oljebytten 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 utnyttjad. 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



Figur 6. Stapelbara substrat kan rötas genom torrrotning, röt-kammaren är ett lufttätt garageliknande utrymme utrustat med vatten-spolningsanordningar och uppvärmningssystem.

anläggningen. Under vintern åtgår betydande mängder värmeenergi till uppvärmning av nytt substrat som matas in i rötkammaren och till uppvägande av rötkammarens 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 6). Vid uppgradering av biogas renar man först gasen från svavelväte



*Bild 5. Större biogasanläggningar använder oftast stora ottomotorer vid generering av elektricitet*



*Bild 6. Erkki Kalmari, en av biogaspionjärerna i Finland tankar sin bil med förädlad biogas från gårdens egen biogasanläggning.*

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 utspädande 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 spolas 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 lågre 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 luktsätas. 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.

## Exempel: Biogasproduktion på mjölkgård

### Stallgödsel som substrat

En mjölkko + rekrytering producerar cirka 65 kg gödsel per dygn. Gödselns innehåll av torrsubstans är kring 10 % och cirka 80 procent av torrsubstansen 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 knappa 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 m<sup>3</sup> 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. Årsskörderna av vallväxter antas vara 17 400 kg färskvikt/ha vilket motsvarar medeltalet i Finland. Vallens torrsubstans ligger på 35 % och 90 % av torrsubstansen antas vara organiskt material.

Mängden organisk torrsubstans 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> metan motsvarar ungefär 1660 MWh kemisk energi eller knappa 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 knappa 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 knappa 300 m<sup>3</sup>.

Vid rötning av vallväxter kan man använda en röt-kammarbelastning på cirka 6 kg organiskt material per kubikmeter röt-kammarvolym och dygn, uppehållstiden 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 röt-kammaren är cirka 550 m<sup>3</sup>.

### 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

#### Energiinnehåll

1 m <sup>3</sup> metangas	=	1 liter olja = 10 kWh
1 m <sup>3</sup> biogas	=	~ 6 kWh
1 m <sup>3</sup> biogas	=	~ 2 kWh elektricitet

Tidningen om Finlands lantbruk och landsbygd – på svenska

# Landsbygdens Folk

– greppar landet

Fredriksgatan 61 A 34, 00100 Helsingfors

Tfn (09) 586 0460, fax (09) 694 1358

[www.landsbygdensfolk.fi](http://www.landsbygdensfolk.fi)

för 10 000 liter olja med ett skattefritt oljepris på 505 €/m<sup>3</sup> 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 €.

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 kulvertledningar 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.