

Produktion av biogas på gården



Innehåll

Inledning	2
Biologin bakom biogasproduktion	3
Processens fyra steg	4
Metanbildande bakterier	4
Syre	4
Temperatur	5
pH-värde	6
Näringsämnen	6
Hämmande ämnen	7
Biogasbildningen i praktiken	8
Biogasråvaror	8
Krav på bearbetning av rösubstratet samt tillståndsförfarandet för anläggningar	9
Gasutbyte och gaskvalitet	10
Uppehållstid	11
Rötkammarbelastning	12
Omblandning	12
Rötrest	13
Anläggningsteknik	14
Spontan metanbildning	14
Enkla biogasanläggningar	14
Våtrötningsanläggningar	15
Torrötning	17
Gasens användning	18
Ett högvärdigt bränsle	18
Värmeproduktion	18
Kraftvärmeproduktion	18
Försäljning av gas lokalt	20
Inmatning av gas till naturgasnätet	20
Förädling av gasen till trafikbränsle	21
Exempel: Biogasproduktion på mjölkgård	23
Stallgödsel som substrat	23
Vallväxter som substrat	24
Produktion av kraftvärme	24
Processvärme	24
Dimensionering av en biogasanläggning	25
En biogasanläggnings lönsamhet	25

Inledning

Biogas består till två tredjedelar av metan och till en tredjedel av koldioxid. Den kan användas som bränsle i gaspannor för värmeproduktion eller i gasmotorer för produktion av värme och el eller förädlas till trafikbränsle.

Biogas är en produkt av rötning, det vill säga en biologisk nedbrytningsprocess som sker i naturen i syrefria förhållanden. På jordbruk kan biogas produceras genom rötning av organiskt material som gödsel eller foder, under kontrollerade förhållanden. Även bioavfall är utmärkt råvara för biogas.

I Finland ställer Livsmedelssäkerhetsverket Evira krav som måste uppfyllas för att en behandlingsanläggning och -process för biogas ska godkännas.

Vår förhoppning är att den här guiden ska ge bra grundinformation för alla som planerar att börja producera biogas eller annars är intresserade av saken.

Motiva Ab

Biologin bakom biogasproduktion

Biogas är en produkt av en biologisk process. I naturen bildas biogas bland annat i syrefria bottensediment i sjöar och kärr, i vommen på idisslare och över huvud taget på ställen där organiskt material bryts ner utan närvaro av luft. Syrefria förhållanden är en central förutsättning för att organiskt material ska kunna omvandlas till en brännbar gasblandning genom rötning. I närvaro av syre sker den biologiska nedbrytningen genom kompostering.

Biogas är en gasblandning (tabell 1) som grovt taget består av två tredjedelar metan och en tredjedel koldioxid. Gasen kan användas som bränsle i gaspannor för värme- eller produktion eller brännas i gasmotorer för produktion av värme och el (bild 1). Dessutom kan gasen förädlas till trafikbränsle.

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

Bild 1. Med hjälp av en biogasanläggning kan en gård göra sig självförsörjande vad gäller energi.



Bild Sakari Alasuutari / Vastavalo.fi

Processens fyra steg

Bildningen av biogas indelas i fyra olika steg som sköts av olika mikroorganismer. De fyra stegen är: lösningssteget (hydrolys), syrabildningssteget (acidogenes), ättiksyra-steget (acetogenes) och metanbildningssteget (metanogenes) (bild 2).

Vid lösningssteget sönderdelas kolhydraterna, fetterna och proteinerna i utgångsmaterialet i enklare organiska föreningar som socker, fettsyror och aminosyror. Sönderdelningen sker med hjälp av extracellulära enzymer som utsöndras av mikroorganismer.

Vid syrabildningssteget omvandlas de sönderdelade ämnena till enklare fettsyror som propionsyra, smörsyra och ättiksyra. Dessa sönderdelas sedan i ättiksyra och koldioxid.

Metan bildas ur ättiksyra och ur väte och koldioxid som bildas som mellanprodukter vid reaktionerna. Fettsyrorna och vätet som bildas vid jäsningsstegen är i större koncentrationer skadliga för mikroorganismer, och därför är det viktigt att de avgår i samma takt som de bildas vid metanproduktionen. De olika stegen i biogasproduktionen är inte separata utan sker samtidigt.

Metanbildande bakterier

De metanbildande bakterierna hör till gruppen arkéer 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 i dag. Många av de arkéer som lever i dag är anpassade till extrema livsmiljöer som höga temperaturer eller höga salthalter. Gemensamt för alla metanbildande arkéer är att de över huvud taget inte tål syre.

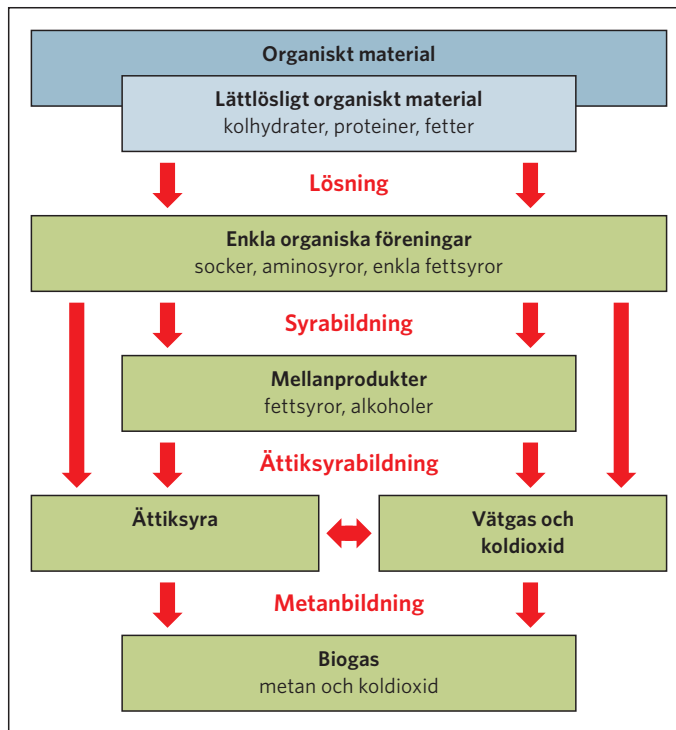


Bild 2. Bildningen av biogas indelas i fyra olika steg som sköts av olika mikroorganismer. Metanbildningen sker via flera olika mellanprodukter.

De organismer som deltar i de olika stegen i bildningen av biogas mår bäst under litet olika miljöbetingelser i fråga om syrehalt, temperatur och pH-värde. De metanbildande organismerna är de som allmänt anses vara allra mest kräsna och också de som förökar sig långsammast. Av den här anledningen brukar man i biogasanläggningar anpassa förhållandena enligt de metanbildande bakteriernas behov.

Syre

För metanbildande organismer är syre ett gift. Trots att man vid drift av en biogasanläggning strävar till att undvika att låta syre komma i kontakt med materialet, kommer små mängder syre in i biogasreaktorn med substratet och kan även tillföras till gaskammaren för att oxidera svavlet. Så länge mängderna är små utgör det här inte ett problem, eftersom syret kan konsumeras av fakultativt anaeroba bakterier som deltar i de första stegen av biogasbildningen och av bakterierna som oxiderar svavel.

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 organismerna klarar av.

Till skillnad från vad som är fallet vid kompostering bildas normalt endast väldigt litet värme vid biogasproduktion. Det har uppskattats att 3–5 procent av energiinnehållet i organiskt material omvandlas till värme via livsfunktioner. Under våra klimatförhållanden måste rötammaren vara både väl isolerad och aktivt värmas för att önskad snabb sönderdelning och en hyfsad gasproduktion ska kunna upprätthållas. För de biogasbildande bakterierna är det viktigt att inga snabba förändringar i rötammarens temperatur sker. Långsamma förändringar är mindre problematiska än snabba i och med att organismerna då bättre hinner anpassa sig till förändrade förhållanden.

Bild 3. I finska klimatförhållanden måste rötammarna vara välisolerade och uppvärmda för att biogasprocessen ska vara stabil.



Bild 4. Metanbildande bakterier är enkla arkéer som inte tål syre, Methanosarsina mazei-bakterier sedda genom elektronmikroskop.

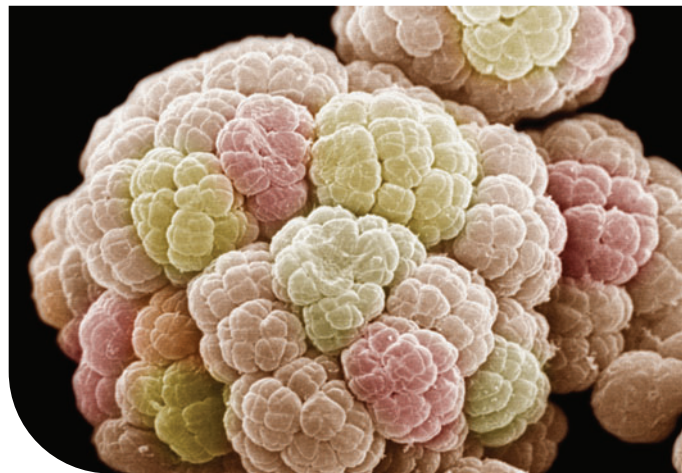


Bild Ralph Robinson / Getty Images

Vid rötning av material som innehåller stora mängder kolhydrater uppstår värme, som kan observeras i stora reaktorer. Då kan det hända att reaktorn blir självvärmade. För att en uppvärmning av det här slaget alls ska kunna observeras måste utomhustemperaturen vara hög och reaktorns hölje vara välisolerat och dessutom måste substratet

ha hög torrsubstanshalt. I regel är ändå användning av värmeenergi en förutsättning för produktion av biogas.

Biogasprocesser indelas i psykrofila, mesofila och termofila processer enligt den temperaturintervall under vilka de arbetar.

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 i kärr och dessutom i slambassänger som ett resultat av mänsklig verksamhet.

Metanbildande processer som arbetar under temperaturintervallet 32–42 °C kallas *mesofila*. De flesta biogasanläggningar arbetar inom det här temperaturintervallet, som är detsamma som gäller för bakterierna i husdjurens matsmältningskanal. Biogasutbytet vid mesofila processer är bra och dessutom är processen lätt att hålla stabil.

Termofil rötning sker inom temperaturintervallet 50–60 °C. Vid termofil rötning tar det bara från hälften till två tredjedelar så lång tid för materialet att bli utrötat som vid mesofil rötning. Det här innebär att en och samma anläggning i bästa fall kan arbeta på dubbelt så hög effekt inom det termofila temperaturområdet som inom det mesofila. På minussidan å andra sidan är att termofila biogasprocesser är mer känsliga för störningar än mesofila. Dessutom blir energiförbrukningen på grund av den högre driftstemperaturen större vid termofila processer, det här gäller både värmeförlusterna till omgivningen och energibehovet för att värma upp materialet som ska rötas.

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 ättiksyrabildningen och metanbildningen kräver däremot neutrala förhållanden.

Under normal drift av rötningsprocessen brukar röttkammarens pH-värde hålla sig kring 7–8, men vid tillsats av för mycket substrat 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 rötningsprocessen 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.

Framför allt vid rötning av kväverika material som innehåller protein bildas betydande mängder ammoniumkväve som kan ha en förhöjande inverkan på pH-värdet. I prakti-

ken innebär det att rötresten från en biogasanläggning som rötat gödsel har högre pH-värde än den gödsel som matas in i processen.

Näringsämnen

En lämplig sammansättning av fodret är en förutsättning för all djurhushållning, det samma 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 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.

Bild 5. Speciellt viktigt är att förhållandet mellan kol och kväve i substratet är lämpligt. Till exempel kan svinggödsel som sådan innehålla för mycket kväve och då behövs också kolhaltig växtbiomassa för processen.



Bild Jarmo Hiltunen/Envitecpolis/Motiva

Vid rötning av mycket kväverik gödsel som höns- eller svinggödsel (bild 5) finns risk för att ammoniumhalten blir för hög. Förhållandet mellan kol och kväve i substratet får gärna vara cirka 20:1 (10–30:1). Det här betyder att materialet som matas in i en biogasanläggning gärna ska innehålla ungefär 20 gånger så mycket kol som kväve, men det finns biogasanläggningar som fungerar bra också utanför det här intervallet. Spårämnen finns i allmänhet i tillräcklig mängd i det material som ska rötas, det här gäller i synnerhet då man rötar material som till stor del utgörs av stallgödsel.

Vid rötning av enbart energiväxter, något som är vanligt i exempelvis Tyskland, kan det bli brist på spårämnen som kobolt, nickel, molybden och selen. För att undvika sänkt biogasbildning pga. spårämnesbrist tillsätter man ofta metallsalter till den växtmassa man matar in i rötkammaren (bild 6). Tillsats av järnsalter är ett sätt att minska på mängderna svavelväte i gasen i och med att järnet binder svavlet. En nackdel med tillsats av järnsalter är att fosfor i rötresten tenderar bli mindre tillgänglig för växterna i och med att också den binds till järnet.

Hämmande ämnen

Vilket som helst ämne som ingår i det substrat som tillförs rötkammaren 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. På mjölkgårdar med en biogasanläggning brukar mera omfattande antibiotikakurer i ladugården synas som en nedsatt biogasproduktion om ämnen som innehåller antibiotika kommer



Bild Sakari Alasuutari / Vastavalo.fi

Bild 6. Vid rötning av enbart växtbiomassa som halm är det ofta nödvändigt att tillföra metallsalter till rötkammaren.

direkt in i reaktorn. Antibiotikan sönderdelas dock bland gödseln inom några dagar eller veckor, om gödseln inte matas in i reaktorn meddetsamma. Förutom ämnen som tillförs med substratet kan produkter av de deltagande bakteriernas egen ämnesomsättning verka inhiberande på processen, exempel på det här är bildning av ammoniak, svavelväte och fettsyror.

En förutsättning för biogasproduktion är substrat med lämplig sammansättning.

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 sockerbetsblast. 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.

I de cirka tjugo lantbruksanläggningar som finns i Finland i dag är stallgödsel den huvudsakliga råvaran. I Tyskland används förutom stallgödsel stora mängder åkergrödor och då framför allt majs vid produktionen av biogas (bild 7). Majsen skördas hel och hackas och lagras som ensilage övertäckt med presenning i en plansilo.

Bakgrunden till att det produceras mycket biogas av majs och vallväxter i Tyskland är att små elproducenter där får ett mycket bra pris för el som levereras till nätet, detta

förutsatt att elen produceras med förnybara energikällor. I Tyskland får en typisk producent av biogas el i snitt 15 cent per såld kilowattimme elenergi. Priset är dessutom garanterat i tjugo år. Tack vare det goda priset för grön el är biogasproduktionskapaciteten i Tyskland cirka 59 terawattimmar (TWh). För jämförelsens skull kan sägas att världens största kärnkraftverksenhet som håller på att uppföras i Finland får en beräknad årsproduktion på 14 TWh. Den goda lönsamheten hos de tyska biogasanläggningarna bygger helt på att priset för elenergin är subventionerat. I Tyskland fanns det nästan 19 500 anläggningar vid utgången av 2011.

Sedan 2011 har en producent av biogas också i Finland kunnat få ett garantipris eller en inmatningstariff på upp till 13,35 cent per kilowattimme för den producerade elektriciteten. Ingen producent av biogas har ännu ett år efter införandet av garantipris sökt om tariffen.

Bild 7. Tack vare ett gott pris för den producerade elenergin är elproduktion via biogas med odlade grödor som huvudsakligt råmaterial lönsam i Tyskland.





Bild 8. Biprodukter från jordbruket som sockerbetsblast är lämpliga för rötning.

För att man ska kunna komma med i tariffsystemet krävs bland annat att inget investeringsstöd fått för anläggningens byggande och att inga begagnade komponenter använts. Dessutom krävs att anläggningens generatoreffekt är minst 100 kilovoltampere, kVA. Anläggningens eleffekt bör alltså vara minst cirka 100 kW, vilket är en så hög effekt att väldigt få gårdar kan komma upp till den på egen hand med hjälp av gödsel och överblivet foder.

Krav på bearbetning av rötsubstratet samt tillståndsförfarandet för anläggningar

I Finland ställer Livsmedelssäkerhetsverket Evira krav som måste uppfyllas för att en behandlingsanläggning och -process för biogas ska godkännas. Evira har också hand om tillsynen och för ett register över godkända anläggningar. Här presenteras den vanligaste praxisen som gäller kraven på

bearbetning, men när man planerar en biogasanläggning är det bäst att ta reda på vilka bearbetningsmetoder som godkänns i det enskilda fallet och vilka alternativ det finns för användning av slutprodukten.

I en biogasanläggning på gården behöver stallgödsel och trygga växtrester ingen särskild bearbetning, om slutprodukten inte släpps ut på marknaden utan används på gården. En sådan anläggning behöver inte godkännas.

Om anläggningen bearbetar gödsel, växtmassa eller material som härrör från avfall och kan innehålla växtpatogener (t.ex. potatis och andra rotfrukter) och slutprodukten från anläggningen släpps ut på marknaden, krävs godkännande av anläggningen. Lagen om gödselproduktion 539/2006 ställer krav på slutprodukten, av vilka tillräckligt låg halt av *E. coli* oftast är ett kriterium. För att säkerställa den hygieniska kvaliteten räcker det vanligen med termofil rötning i 55 graders temperatur.

Användningen av animaliska biprodukter regleras i biproduktsförordningen (EG) Nr 1069/2009. De animaliska biprodukter förutom gödsel som oftast bearbetas i biogasanläggningar är avfall från livsmedelsindustrin och bioavfall utan särskild sjukdomsrisk. Som behandling krävs då hygienisering i minst +70 grader under en timmes tid, när styckedimensionen är mindre än 12 millimeter.

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 ska upphetas till 133 grader under 3 bars tryck i 20 minuters tid, när styckedimensionen är mindre än 50 mm.

Med nationella kriterier kan även mjölk- och äggprodukter samt före detta livsmedel och foder godkännas för bearbetning. Dessutom kan anläggningens process experimentellt konstateras tillräcklig via ett valideringsförfarande.

Förutom godkännande av anläggningen behöver en biogasanläggning vanligen miljötillstånd för yrkesmässig behandling av avfall, som beroende på storleksklassen kan beviljas av kommunens miljömyndighet eller av regionförvaltningsmyndigheten.

Kommunens byggnadsmyndighet beviljar bygglov och i allmänhet måste kemikalieanmälan göras till Säkerhetsteknikcentralen, för större anläggningar måste tillstånd för upplagring av kemikalier (biogas) sökas hos Säkerhetsteknikcentralen. Dessutom bör **förordningen om säkerhet vid hantering av naturgas (551/2009)** följas även vid biogasanläggningar.

Gasutbyte och gaskvalitet

Utbytet av biogas från ett substrat beror på substratets sammansättning (tabell 2). Eftersom olika rötbara material innehåller olika mycket vatten räknar man ofta materialets biogaspotential enligt substratets innehåll av torrsubstans. Torrsubstansen är kring 5-8 procent i flytgödsel medan den är kring 35 procent 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 ska fungera praktiskt bör materialet vara pumpbart. Förutom att en hög halt av torrsubstans gör materialet svårhanterligt påverkas också själva processen negativt om materialet är alltför fast. Det här sker genom att bakterierna vid mycket höga torrsubstanshalter har svårt att föröka sig och flytta på sig och genom att koncentrationen av hämmande ämnen på grund av relativt sett lågt vatteninnehåll kan bli hög.

Substrat som innehåller mycket fett och protein ger en högre metanhalt och därmed ett högre värmevärde på gasen än material som innehåller mycket kolhydrater. Vid röt-

ning 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.

Tabell 2. Metanhalt och gasutbyte med olika substrat

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



Bild Fredrik Ek

Bild 9. På den här tyska anläggningen rötar man gödsel, ensilage och matrester. Matresterna genomgår värmebehandling (70 °C 1 h) i behållaren till vänster innan de matas in i biogasanläggningen. Gödsel och ensilage matas in som sådant.

Mängden gas som kan utvinnas beror på vilken råvara som används. Ett substrat som innehåller litet vatten och mycket lättnedbrytbart organiskt material ger mycket gas. Att röta enbart flytgödsel vid mesofil rötning ger sällan mer än 1 kubikmeter biogas per kubikmeter röt-kammarvolym och dag. Om blandningen innehåller mer energirika material som vallgrödor, sockerbetor och matrester kan man få ut 2-3 kubikmeter biogas per kubikmeter röt-kammarvolym och dag.

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 en illaluktande gas, lukten beskrivs allmänt som lukten av ruttna ägg. Innan biogasen kan förbrännas i en gasmotor eller i en gaspanna måste svavelvätet ofta fällas

ut ur gasen, detta för att undvika korrosionsskador på motorer och gaspannor.

I sin enklaste form sker utfällningen av svavelvätet genom en inblandning av cirka 1–3 procent 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 ska fungera effektivt behövs ytor där *Sulfobacter oxydans* kan leva. Lämpliga växtunderlag för bakterien är träkonstruktioner i rötkammarens tak eller i gaslagret eller fyllkroppar som exempelvis träbitar i en separat för avsvavling konstruerad behållare.

Om avsikten är att producera biogas av naturgaskvalitet lämpar sig inte en tillsats av luft till gasen, avskiljandet av svavelvätet kan då göras genom att tillsätta olika järnsalter till substratet. Järnsalterna (t.ex. järntriklorid) binder svavlet så att det kommer ut ur processen tillsammans med rötresten i stället för med biogasen. Som ett ytterligare steg i reningen av svavelväte kan aktivkol filter, vatten- eller kemikalietvätt användas.

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.

Den vanligaste typen av biogasanläggning bygger på en helomblandad rötning i en röt-

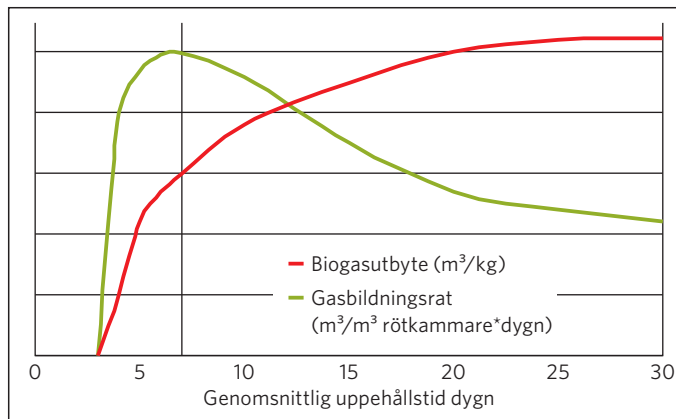


Bild 10. Den maximala gasproduktionen (den gröna linjen) med en viss rötkammare uppnås vid rätt kort uppehållstid medan den maximala utrötningen av ett substrat nås vid en lång uppehållstid (den röda linjen). Om den genomsnittliga uppehållstiden är för kort kommer biogasprocessen att kollapsa på grund av alltför stor utsköljning av metanbildande mikroorganismer.

kammare. På grund av att materialet ständigt blandas om är det omöjligt att veta hur länge en enskild vattenmolekyl befinner sig i rötkammaren, den genomsnittliga uppehållstiden för materialet kan man ändå beräkna mycket enkelt. Uppehållstiden för materialet i en biogasanläggning är definierad som rötkammarens volym dividerat med volymen av det dagligen tillförda substratet. I fråga om biogasanläggningar som har flera täckta behållare som körs i serie beräknar man uppehållstiden separat för varje behållare och adderar sedan resultaten. På senare tid har utvecklingen gått mot allt längre uppehållstider och mot byggande av anläggningar med två till tre steg.

Vid rötning av enbart stallgödsel i en biogasanläggning med endast en rötkammare brukar man använda sig av en uppehållstid på cirka en månad. Med åkergrödor som substrat krävs i allmänhet en något längre

uppehållstid, upp till 80–120 dagar, för att materialet ska hinna bli ordentligt utrötat och belastningen inte bli för stor. I anläggningar för bioavfall är uppehållstiden ofta någonstans mellan dessa värden. I biogasanläggningar som förutom den egentliga rötkammaren också har en efterrötkammare är det vanligt med uppehållstider på långt över hundra dygn.

Ju mer substrat som per dygn matas in i en rötkammare, desto kortare blir uppehållstiden. De metanbildande bakterierna förökar sig relativt långsamt. Om man matar en rötkammare med klart mer material än vad som är lämpligt för rötkammarens storlek riskerar man att utspolningen av metanbildande bakterier blir större än återväxten (bild 10).

Rötkammarbelastning

Som mått på hur mycket material man kan tillföra en röttkammare per tidsenhet används begreppet röttkammarbelastning. Röttkammarbelastningen definieras som mängden organiskt material som tillförs röttkammaren per dygn dividerat med röttkammarens storlek.

Den maximala storleken på den röttkammarbelastning som kan användas bestäms av egenskaperna hos det material som ska rötas. Rötning av matrester eller vallgrödor tillåter en högre röttkammarbelastning än rötning av djurgödsel eller halm. En helomblandad biogasanläggning klarar med flytgödsel som substrat cirka 3 kg organiskt material per kubikmeter röttkammarvolym och dygn.

Omblandning

För att en hög biogasproduktion ska uppnås måste bakterierna som gör jobbet i biogasprocessen komma väl i kontakt med materialet som ska rötas. Det här arrangeras genom omrörning av materialet i röttkammaren. Utan omrörning sker en skiktning av materialet så att huvuddelen av bakteriemassan samlar sig i närheten av botten på röttkammaren 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 eller för våldsamt, eftersom detta i vissa undersökningar har visat sig försämra gasutbytet och eftersom överdriven omrörning förbrukar energi i onödan.

Gödselproduktion på gård med 150 mjölkkor

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

Mängd organiskt material

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

Vi antar att gården med 150 mjölkkor har en biogasanläggning med en röttkammarvolym på 300 m³.

Anläggningens röttkammarbelastning och uppehållstid blir följande:

Rötkammarbelastning:

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

Uppehållstid:

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



Bild 11. Vid rötning av matrester kan belastningen vara större än vid rötning av stallgödsel eller halm.

Det mest allmänna sättet att röra om i röt-kammaren utan att röra om för håftigt är att använda långsamt gående roterande omrörare vars hastighet dessutom kan regleras för att tidvis öka effekten.

Omblandning är viktigt också för att undvika att material bildar avsättningar på botten av röt-kammaren. Sand och övrigt tungt material tenderar ändå bilda avsättningar som med tiden leder till att röt-kammarens aktiva volym minskar om man inte tar ut dem. Avsättningarna kan tas ut antingen periodvis ovanifrån efter en tömning av anläggningen eller kontinuerligt med hjälp av ett för ändamålet byggt system.

Vid rötning av bioavfall eller höns-gödsel bildas stora mängder avsättningar som snabbt leder till att röt-kammaren börjar fyllas upp, däremot bildas det endast litet avsättningar vid rötning av nöt-gödsel och ensilage. För att få ut avsättningarna från en biogasanläggning som rötar exempelvis bioavfall finns det flera möjliga lösningar. Röt-kammarens botten kan göras konformigt eller så kan mekaniska skrapor och transport-skrivar installeras. De här systemen leder ändå till att anläggningen blir en del dyrare än annars och därför finns dylika system närmast på större anläggningar.

Rötrest

All den näring som finns i det material som matas in i röt-kammaren finns efter biogas-processen 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.



Bild Iris Lappalainen

Bild 12. Separering av rötresten i en fast och en flytande del vid Envor Biotechs biogasanläggning i Forssa.

Att röta stallgödsel och sprida rötresten på åkrarna i stället för att använda 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 när de illaluktande organiska föreningarna sönderdelas under processen. Rötresten har lägre torrsubstanshalt än substraten och håller jämnare kvalitet. Den kan spridas med samma teknik som flytgödsel. Rötresten från torrrottningsanläggningar är i fast form och sprids på samma sätt som fastgödsel. För spridning av rötrest på åkermark gäller samma bestämmelser för minskning av kväveutsläppen som för spridning av stallgödsel.

Genom separering av rötresten i en fast och en flytande fraktion får man två olika slags gödselmedel. Huvuddelen av fosfor finns med i den fasta fraktionen medan den flytande fraktionen lämpar sig som kvävegödsel. I fall där man har överskott på fosfor i närheten av en biogasanläggning erbjuder separering av rötresten möjligheter att transportera den kompakta fosforrika andelen längre bort medan den vattenrika kväverika fraktionen sprids på närliggande åkrar.

Anläggnings- teknik

Spontan metanbildning

Biogas produceras i dag 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.

I finska klimatförhållanden måste röt-kammarens tak tilläggsisoleras.

Enkla biogasanläggningar

I världen finns sammanlagt tiotals miljoner enkelt konstruerade småskaliga biogasanläggningar. Rötkammaren består där av två gastäta kärl som är placerade innantill varandra, det undre och aningen större kärlet är öppet uppåt medan det övre och aningen mindre kärlet är öppet neråt (bild 13). 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 uppnedvända övre kärlet som fungerar som en gasklocka och tätas mot det undre kärlet genom vattenlåsprincipen. Den producerade gasen leds från toppen av gasklockan genom en slang in till köket där den används som energikälla för matlagning.

Hur mycket gas som finns att tillgå i anläggningen kan man enkelt se genom att kolla in hur högt gasklockan flyter. För att de här anläggningarna ska fungera ordentligt krävs att materialet som ska rötas finfördelas innan det matas in till processen, dessutom

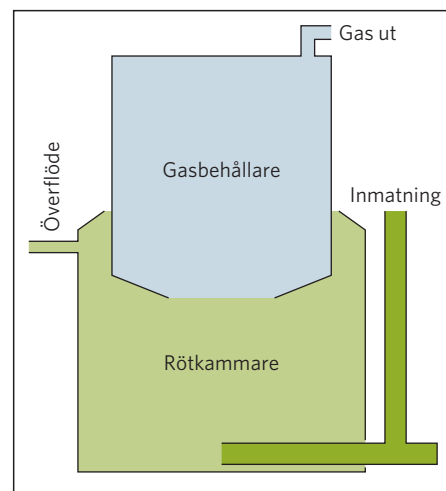


Bild 13. Enkel biogasanläggning

krävs att klimatet är lämpligt varmt. Trots att man i sydliga länder har betydligt varmare vintrar än vad vi har här fungerar de här enkla ouppvärmda och oisolerade anläggningarna dåligt under årets kallaste månader.

Våtrötningsanläggningar

En mer avancerad teknik för biogasframställning bygger på en fortlöpande tillsats av rötsubstrat till en helomblandad röt-kammare med pumpbart material (bild 14). Röt-kammaren är utformad som en cylindrisk behållare gjord av stål eller stålbetong som oftast är täckt med två gastäta folier.

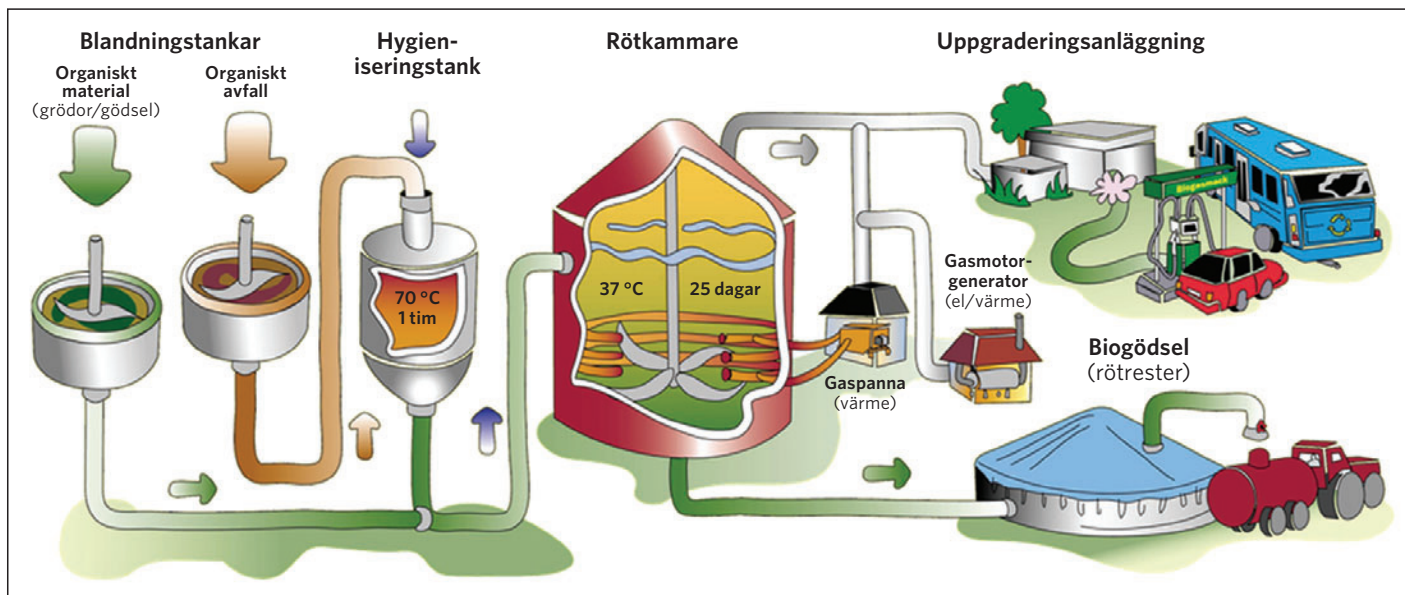
Utrymmet under den undre folien fungerar som gaslager medan den övre folien fungerar som väderskydd. Den yttre folien hålls spänd med hjälp av ett svagt övertryck som åstadkoms med en liten fläkt som blåser in luft i utrymmet mellan de två folierna. Arrangemanget gör att mängden gas under den undre folien kan variera och bidrar samtidigt till röt-kammarens värmeisolering.

I mellaneuropeiska biogasanläggningar brukar man inte ha någon annan övre isolering än den som åstadkoms av luften mellan de två folierna. I finska klimatförhållanden är det bra att satsa på ytterligare isolering.

I motsats till de enkla anläggningarna är röt-kammaren i en mer avancerad biogasanläggning isolerad och utrustad med omrörare och varmvattenslingor för uppvärmning. I och med att tillflödet av material sker kontinuerligt måste också material i jämn takt lämna röt-kammaren. Eftersom materialet som lämnar röt-kammaren fortfarande har en del biogasproduktionskapacitet kvar överförs det till ett gastätt rötrestlager i väntan på spridning som gödsel på åker. Cirka 10–25 procent av den totala biogasproduktionen sker i allmänhet i rötrestlagret.

På senare tid har man i Mellaneuropa börjat förutsätta att rötresten ska lagras i täckta behållare för undvikande av metangasutsläpp, med ett öppet lager godkänns en anläggning inte för garantiprissystemet. I Finland finns ännu så länge inte motsvarande bestämmelser, men utan ett täckt rötrestlager som fungerar som efterrötningskammare förlorar man en betydande del av biogasproduktionspotentialen. Om anläggningen optimeras för maximalt energiutbyte minimeras samtidigt metanutsläppen. Om anläggningen däremot optimeras för maximal bearbetningskapacitet i förhållande till röt-kammarens storlek ökar samtidigt metanutsläppen.

Bild 14. En mer avancerad och tekniskt mer komplicerad teknik för biogasproduktion bygger till exempel på mesofil rötning i en helomblandad röt-kammare. Den producerade gasen utnyttjas i allmänhet för kraftvärmeproduktion medan rötresten sprids som flytgödsel.



För tillsats av stapelbara substrat till en våtrötningsanläggning kan två lösningar användas. Gödsel och fast biomassa kan antingen blandas med varandra i en särskild blandningsbehållare varifrån materialet sedan pumpas in i rötkammaren eller så kan den fasta biomassan med hjälp av transportskruvar matas direkt in i rötkammaren. Valfungerande system för hantering av fasta material är en förutsättning för att en biogasanläggning ska fungera i praktiken.

En vanlig lösning för tillsats av energiväxter till en biogasanläggning är ett arrangemang som liknar en fullfodervagn som används vid utfodring av kor där växtmassan med hjälp av skruvar finfördelas och matas in under vätskeytan i rötkammaren.

En mindre använd funktionsprincip för biogasanläggningar än den helomblandade genomflödesprincipen bygger på satsvis rötning i behållare som fylls, utrötas och töms. I fråga om våtrötningsanläggningar används den här principen inte just alls, men vid så kallad torrötning är satsvis drift vanlig. Vid ett satsvis förfarande varierar gasproduktionen så att den är liten i början, når ett maximum varefter den sakta avtar. En jämn gasproduktion med satsvis arbetande system är möjlig om flera rötkammar används som fylls och töms vid olika tidpunkt. Vid satsvis matning är uppehållstiden lätt att entydigt bestämma.

Vatten är en viktig del av processen även vid torrötning.



Bild Sakari Alasuutari / Vastavalo.fi

Bild 15. Flytgödsel kombinerad med fast biomassa är lämplig för rötning.

Bild 16. Mottagningsterminalen för salladsrester och hönsgödsel vid biogasanläggningen i Turakkala i Juva.



Bild Fredrik Ek

Torrötning

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

Torrötningstekniken härstammar ursprungligen från avstjälningsplatser där regnvatten som sipprat ner genom soporna har samlats upp och pumpats tillbaka över materialet. Genom ett sådant förfarande har man kunnat förkorta den tid under vilken gasbildningen pågår. Biogasutvinning ur avstjälningsplatser skiljer sig principiellt inte stort från torrötning, men den bildade gasen har en lägre metanhalt än gas som produceras i en rötkammare och nedbrytningsprocessen räcker betydligt längre.

Det finns olika former av torröttningsanläggningar, den mest använda bygger på att man pumpar vatten över materialet som ska rötas 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 perkolatvätskan upp och pumpas tillbaka över materialet (bild 17).

För att perkolationsvätskan ska fördelas jämnt över materialet i rötkammaren krävs att materialet har en relativt grov struktur. Samtidigt bör materialet vara finfördelat för att angreppsytan för bakterierna ska 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 mate-

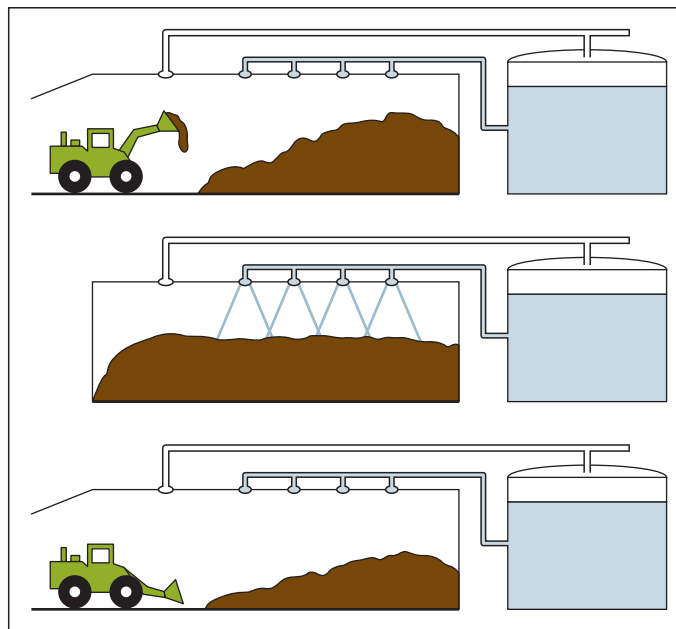


Bild 17. Stapelbara substrat kan rötas genom torrötning, rötkammaren är ett lufttätt garage-liknande utrymme utrustat med vatten-spolningsanordningar och uppvärmnings-system.

riale ska 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. Trots en längre uppehållstid tenderar det ändå att bildas fickor med material som inte blir ordentligt utrötat. Vid tömning och påfyllning av en rötkammare med hjullastare brukar man återföra en del av det material som inte blivit ordentligt utrötat till rötkammaren för vidare rötning, dessutom blandar man in en del av rötresten i det nya materialet för att ympa det med en lämplig bakteriekultur. För att möjliggöra materialhanteringen med hjullastare behöver man en rätt stor asfalt- eller betongplan utanför rötkamrarna.

Under de senaste åren har kommersiella torröttningsanläggningar av den här typen kommit ut på marknaden, men de repre-

senterar fortfarande endast några procent av alla anläggningar som byggs.

Problemet med vanliga torröttningsanläggningar är avsaknad av omrörning av materialet. För att råda bot på det här har torröttningsanläggningar med grova skovelhjul-liknande omrörararrangemang utvecklats. Dessutom finns det anläggningar som utgör ett slags mellanting mellan våt- och torrötning där mycket trögflytande massor med hög halt av torrsubstans pumpas runt av skruvpumpar.

Gasens användning

Ett högvärdigt bränsle

Biogas är ett högvärdigt bränsle som kan användas till ett flertal olika ändamål, för värmeproduktion, kombinerad värme- och elproduktion samt i förädlad form som trafikbränsle eller gas som matas in i naturgasnätet.

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 använda gasen som energikälla i köket. Typiskt för gårdsbaserade biogasanläggningar är att energiproduktionen i anläggningarna mångfalt överskrider gårdens eget behov av vär-

meenergi, dessutom är behovet av värme under sommarhalvåret begränsat. På gårdsbaserade biogasanläggningar har man i allmänhet gått in för kombinerad el- och värmeproduktion.

Kraftvärmeproduktion

För produktion av kraftvärme (CHP, Combined Heat and Power) utgående från biogas finns flera olika möjliga tekniska lösningar. Den mest allmänt använda lösningen bygger på förbränning av biogasen i en ottomotor (bild 18) eller i en för gasdrift konverterad dieselmotor. Motorn i sin tur driver ett elaggregat på ett konstant varvtal för att den producerade elenergin ska hålla samma frekvens som elnätet.

I fråga om drift av rena gasmotorer sker tändningen av gasblandningen med tändstift, medan man vid drift av dieselaggregat tänder gasblandningen med hjälp av en liten mängd diesel för varje cylinderfyllning. Dieselåtgången motsvarar vid de här anläggningarna ungefär 2-10 procent av den mängd som skulle gå åt vid ren dieseldrift, eller ungefär det som åtgår vid tomgångskörning av motorn. På senare tid har man i allt högre grad gått in för ottomotorer, die-

Bild 18. Större biogasanläggningar använder oftast stora ottomotorer vid generering av elektricitet.

Bild Fredrik Ek



selmotorer används endast vid en del riktigt små anläggningar.

Andra möjliga lösningar för kraftvärme-produktion är drift av stirlingmotorer eller mikrogasturbiner. Stirlingmotorer är kolvmotorer med extern förbränning och borde i princip klara sig med mindre service och hålla längre än motorer med intern förbränning. Stirlingmotorer tenderar ändå vara utrymmeskrävande och dyra och används därför inte allmänt.

Mikrogasturbiner har i viss utsträckning använts i biogassammanhang, hos oss används mikrogasturbiner bland annat vid några avstjälningsplatser med metangasutvinning. I en gasturbin finns det en enda rörlig del, något som bidrar till att de kan hålla länge och klara sig med väldigt litet service. I dagsläget är ändå mikroturbiner 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 i dag 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 del nackdelar. En kolvmotor innehåller många rörliga delar som slits, och den är beroende av ofta återkommande service i form av oljebyten och byte av tändstift. Efter fem-tio års kontinuerlig drift krävs totalrenovering eller alternativt utbyte av motorn.

En liten förbränningsmotor som drivs med biogas klarar av att omvandla ungefär 30 procent av biogasens energiinnehåll till el-



Bild Fredrik Ek

*Bild 19.
Överskottsvärmen
från en biogas-
anläggning används
här för torkning av
ved på ett växelflak.*

energi, resten blir värme. Stora gas- och dieselmotorer kan arbeta med en elverkningsgrad på över 40 procent. Den största delen av biogasens energiinnehåll omvandlas vid kraftvärmeproduktion till värme, framför allt i anläggningar av mindre storleksklass. Vid valet av placeringsort för en kraftvärmeanläggning lönar det sig att sträva till att få så god och jämn avsättning för den producerade värmen som möjligt. Om det inte finns avsättning för värmen i anslutning till biogasanläggningen lönar det sig att överväga möjligheterna att leda bort gasen med en rörledning för utnyttjande på en annan plats där värmen kan tas tillvara.

Avgaserna från kraftvärmeproduktionen kan också i sig utgöra en värdefull resurs. I Mellaneuropa finns exempel på att man utnyttjat avgaserna från biogasmotorer till koldioxidgödsling av växthus efter rening av avgaserna från kväveoxider.

Biogasanläggningar med kraftvärmeproduktion använder motorns spillvärme som värmekälla för uppvärmning av biogasanläggningen och ofta 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 högst 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 rötkammaren och till uppvärmning av rötkammarens värmeförluster.

Försäljning av gas lokalt

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 biogas i rörledningar till förbrukningspunkten i stället 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.

På senare tid har det blivit allt mer allmänt att leda gasen i en gasledning bort från själva biogasanläggningen för direkt förbränning eller kraftvärmeproduktion i anslutning till en stor värmeförbrukare eller ett fjärrvärmenät. Om man leder bort gasen för utnyttjande på annat håll måste man lösa biogasanläggningens uppvärmning på något annat sätt. Ett sätt är att driva en liten gaspanna eller kraftvärmeanläggning i anslutning till anläggningen medan huvuddelen av gasen leds bort, ett annat sätt är att värma biogasanläggningen med en flispanna. Vid försäljning av biogas kan biogasanläggningens ägare välja mellan att

sälja den producerade gasen till energianläggningen i det närbelägna samhället eller att själv driva anläggningen.

Inmatning av gas till naturgasnätet

Ett alternativ till att utnyttja biogasen lokalt eller i närheten av biogasanläggningen är att leda in renad biogas till naturgasnätet. För gårdar som ligger nära en naturgasledning kan det här vara ett bra alternativ.

Bestämmelserna visavi naturgasnätet liknar dem som gäller för elnätet; lika mycket el som produceras med förnybara resurser får säljas som grön el oberoende av var produktionen sker. På motsvarande sätt kan lika mycket gas säljas som biogas som den gasmängd som köps in från en biogasanläggning.

Om den producerade biogasen ska säljas till naturgasnätet bör den enligt rådande bestämmelser motsvara naturgasen både till sitt värmevärde och till sin luktsättning. Naturgasen varierar till sin sammansättning något från plats till plats, den ryska naturgas vi har här består i stort sett endast av metan. Biogasen bör därför förädlas så att den har nästan samma metanhalt som den ryska gasen, samtidigt som svavelväte, koldioxid och fukt bör avlägsnas.

Biogasen måste renas om den ska användas som fordonsbränsle.

Bild 20. Tankning av en biogasdriven bil vid tankstationen (byggd 2011) på Erkki Kalmaris gård i Laukas.



Förädling av gasen till trafikbränsle

Vid uppgradering av biogas till fordonsgas eller för inmatning i naturgasnätet renar man först gasen från svavelväte och partiklar varefter man separerar koldioxiden från gasen (bild 21). Koldioxid i sig är 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 försämrar 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 och kan båda avlägsnas med hjälp av samma skrubber. Praktiskt kan vattenskrubbningen gå till så att man trycksätter gasen till cirka 10 bar i två eller flera steg och leder den uppåt genom en behållare fylld med fyllnadskroppar. Samtidigt spolos vatten nedåt genom fyllnadskroppsbädden varigenom nästan all koldioxid och allt återstående svavelväte löser sig i vattnet (bild 22). Då vattnet från skrubbern leds ut i det fria och trycket sänks frigörs gaserna på nytt varefter vattnet kan återanvändas.

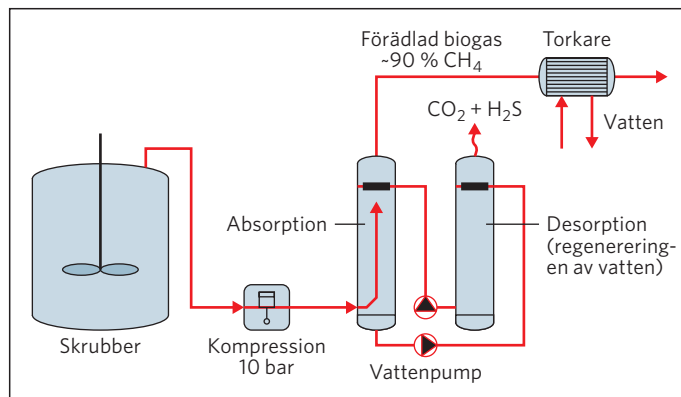
Vid avskiljningsprocessen gäller det att sträva till att undvika stora metanutsläpp så långt det går. Metangas är en mer än 20 gånger så kraftig växthusgas som koldioxid och därför kan metanutsläpp från en biogasanläggning, som i sig dels är byggd för att minska på utsläppet av växthusgaser, lätt leda till en negativ klimatpåverkan om man inte minimerar utsläppen.

*Bild 21.
Reningsanläggningen
för biogas hos Erkki
Kalmari i Laukas.*



Bild Metener Oy

*Bild 22. Schema
över uppgradering
av biogas till
trafikbränsle.*



Trots att skrubbertekniken (bild 22) är den mest använda metoden för uppgradering av biogas har den också nackdelar. En nackdel är att också metan löser sig i vattnet och en annan den rätt höga elförbrukningen för gasens komprimering. För att minska på metanförlusterna använder man sig av ett mellansteg mellan vattenskrubbern och luftningen av vattnet. I det här mellansteget sänks trycket snabbt så att det mesta av den metangas som löst sig i vattnet igen frigörs. Den frigjorda gasen återförs sedan till den egentliga skrubbern medan vattnet med det mesta av koldioxiden förs till en luftningskolonn där koldioxiden luftas bort.

Metaninnehållet i den gasblandning som man ventilerar bort från skrubberanläggningen brukar vara cirka 1-3 procent. I skrubberanläggningar kan man förutom vatten också använda speciella lösningsmedel som gör separeringen av koldioxiden effektivare och tillåter användningen av lägre tryck samt möjliggör lägre metanförlust.

En annorlunda teknik för biogasuppgradering som inte förutsätter komprimering av gasen bygger på att gasen tvättas med ett speciellt lösningsmedel (amin) som sedan regenereras med hjälp av värme. Tekniken möjliggör användning av huvudsakligen

värmeenergi i stället för elektricitet för driften av uppgraderingen och möjliggör lägre metanförlust.

Innan den renade gasen kan användas som bränsle i fordon komprimeras den till ett tryck på cirka 200 bar. Biogas som ska användas som fordonsbränsle på en separat tankstation måste dessutom av säkerhetsskäl luktsättas genom tillsats av tetrahydrotiofen, en svavelhaltig kolväteförening med en kraftig obehaglig lukt. Biogas i sig har en viss lukt, men efter att svavelvätet tagits bort under reningsprocessen blir gasen i det närmaste luktfri.

Bild 23. Den andra biogasdrivna traktorn i Finland tankas av Erkki Kalmari, en av Finlands biogas-pionjärer, vid gårdens tankstation.



Exempel: Biogasproduktion på mjölkgård

Stallgödsel som substrat

En mjölkko + rekrytering producerar cirka 65 kg gödsel per dygn. Gödselns innehåll av torrsubbstans är kring 10 procent och cirka 80 procent av torrsubbstansen består av organiskt material. Vi antar att en gård 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 ($150 \cdot 65 \text{ kg}$). Om djuren går inomhus året om blir gödselmängden på årsnivå cirka 3 650 ton. Mängden organiskt material i gödseln kan räknas ut enligt följande:

Per dygn: $10\,000 \text{ kg} \cdot 10 \% \cdot 80 \% = 800 \text{ kg}$
Per år: $3\,650 \text{ ton} \cdot 10 \% \cdot 80 \% = 292 \text{ ton}$

I nötflytgödsel brukar man per ton organiskt nedbrytbar torrsubbstans få ut kring 360 kubikmeter biogas med en metanhalt på cirka 60 procent.

Metangasproduktionskapaciteten hos ett års gödsel från de 150 korna är följande:

$292 \text{ ton} \cdot 360 \text{ m}^3 \text{ biogas/ton} \cdot 60 \% \text{ metan/biogas} = 63\,000 \text{ m}^3 \text{ metan}$



Bild Ari Andersin / Vastavalo.fi

Bild 24. I nötflytgödsel brukar man per ton organiskt nedbrytbar torrsubbstans få ut kring 360 kubikmeter biogas med en metanhalt på cirka 60 procent.

En kubikmeter metan innehåller ungefär lika mycket energi som en liter olja, dvs. 10 kilowattimmar. Energiinnehållet i den producerade biogasen är därför 630 000 kilowattimmar eller 630 megawattimmar.

För snabba överslagsberäkningar av metangasproduktionspotentialen i flytgödsel kan man använda antagandet 14 kubikmeter metan per kubikmeter flytgödsel. Med en metanhalt på cirka 60 procent motsvarar det här en biogasvolym på cirka 23 kubikmeter. Metanutbytet minskar vid lagring och utspädning, exempelvis om tvätt- eller regnvatten späder ut gödseln.

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 50 hektar odlingsmark utan vettig användning som får börja producera timotej och klöver för biogasanläggningen. Årssköörden av vallväxter antas vara 17 400 kg förtorkad färskvikt/ha vilket motsvarar medeltalet i Finland 2011. Vallens torrsubstans ligger på 35 procent och 90 procent av torrsubstansen antas vara organiskt material.

Mängden organisk torrsubstans från femtio hektar blir:

$$50 \text{ ha} * 17,9 \text{ ton/ha} * 35 \text{ procent} * 90 \text{ procent} = 282 \text{ ton}$$

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

$$282 \text{ ton} * 550 \text{ m}^3 \text{ biogas/ton} * 55 \text{ procent metan/biogas} = 85\,300 \text{ m}^3 \text{ metan}$$

Energiinnehållet i 85 300 kubikmeter metan motsvarar ungefär 850 megawattimmar gasenergi eller cirka 35 procent mer än flytgödseln från de 150 korna gav.

Odling av biomassa för biogasproduktion innebär kostnader medan gödseln kan betraktas som gratis eftersom den är en biprodukt av boskapsuppfödning.

Produktion av kraftvärme

Utgående från enbart gödsel som substrat för biogasproduktionen skulle anläggningen i exemplet årligen producera gas med energiinnehållet 630 megawattimmar. Vill man omvandla biogasens energiinnehåll till elektricitet får man räkna med en verkningsgrad på cirka 30 procent för ett gasmotordrivet elaggregat. Det här innebär att en knapp tredjedel av energiinnehållet i den producerade gasen kan omvandlas till elektricitet. Cirka 55 procent av energiinnehållet blir värme medan 15 procent går förlorat i form av resterande avgasvärme och strålningsförluster.

Exempelanläggningens eleffekt är knappt 22 kW (630 000 kWh/år / 8 760 timmar/år * 30 procent)

$$\begin{aligned} \text{Elproduktion} &= 30 \text{ procent} * 630 \text{ MWh} = 189 \text{ MWh} \\ \text{genomsnittlig effekt} &= 444\,000 \text{ kWh} / \text{år} / \\ &8\,760 \text{ timmar} / \text{år} = 21,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Värmeproduktion} &= 55 \text{ procent} * 630 \text{ MWh} = 347 \text{ MWh} \\ \text{genomsnittlig effekt} &= 347\,000 \text{ kWh} / \text{år} / \\ &8\,760 \text{ timmar} / \text{år} = 39,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

Processvärme

Framför allt under vintern åtgår betydande mängder energi till uppvärmning av substratet som är på väg in i röt-kammaren och till uppvägande av röt-kammarens värmeförluster. I ovanstående exempel med 150 mjölkkor och kraftvärmeproduktionen utgående från enbart flytgödsel åtgår på årsbasis cirka 40 procent av den värme som produceras till att hålla processen i gång. Det här motsvarar cirka en femtedel av den producerade gasens energiinnehåll. Uppvärmningen av substratet förbrukar i allmänhet betydligt mer energi än vad som går åt till att uppväga värmeförlusterna från en välisolerad röt-kammare. Värmeväxling av rötresten mot det inkommande substratet är ett bra sätt att sänka uppvärmningens energibehov. Då man rötar substrat med lägre vattenhalt och större biogaspotential än stallgödsel minskar andelen energi som går åt till att driva processen.

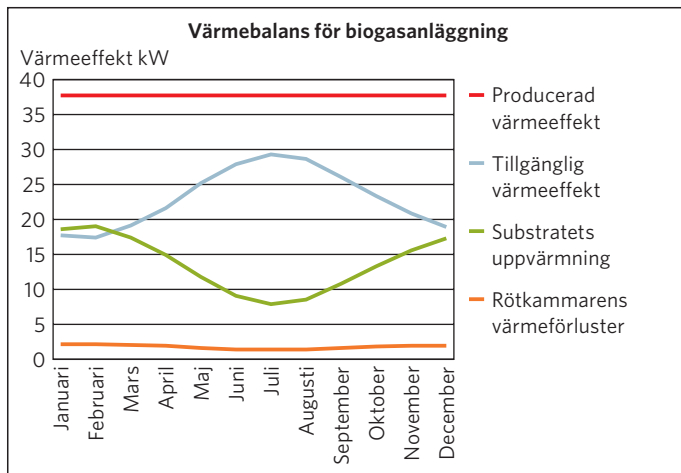


Bild 25. Värmeeffektbalansen hos biogasanläggningen i exemplet.

Sommartid när minst värme behövs finns mest värme till hands i och med att anläggningen då själv behöver minst värme. Uppvärmningen av substratet förbrukar vanligen betydligt mycket mer energi än vad som går åt till att uppväga värmeförlusterna från rötkammaren (bild 25). Här handlar det om en välisolerad rötkammare på 300 kubikmeter med betongtak, där taket är isolerat med 200 mm polystyren och har U-värdet 0,19 W/m² K. I praktiken skulle det vara klokt att gå in för en rötkammare med något större volym med tanke på eventuell inmatning av odlad biomassa eller annat avfall i stället för enbart gödsel. Förutom den egentliga rötkammaren behöver man dessutom en täckt efterrötningskammare från vilken cirka 20 procent av gasen utvinns. Efterrötningskammaren behöver inte vara utrustad med uppvärmningsarrangemang.

Energiinnehåll:

1 m³ metangas = 1 liter olja = 10 kWh

1 m³ biogas - 6 kWh

1 m³ biogas - 2 kWh elektricitet

Dimensionering av en biogasanläggning

Rötkammarens storlek bestäms av mängden substrat som ska matas in i anläggningen samt av substratets egenskaper. Förutom mängden substrat bör man känna till vilken rötkammarbelastning som kan användas och hur lång uppehållstid substratblandningen kräver. Vid mesofil rötning med flytgödsel som substrat klarar rötkammaren en belastning på cirka 3 kg organiskt material per kubikmeter rötkammarvolym och dygn medan uppehållstiden bör vara minst 3–4 veckor.

En biogasanläggnings lönsamhet

Vi antar att mjölkgården med 150 kor har en årlig elförbrukning på 150 000 kilowattimmar (kWh) som med ett elpris på 10 cent/kWh innebär en årlig elkostnad på 15 000 euro. Om biogasanläggningen körs på enbart gårdens egen gödsel passar gårdens elförbrukning rätt väl ihop med anläggningens elproduktion. Att sälja elektriciteten till elnätet lönar sig inte med en anläggning som har en effekt på under 100 kilowatt i och med att små anläggningar i Finland utesluts från systemet med inmatningstariffer. Det är inte lönsamt att sälja el till elnätet från ett motordrivet aggregat eftersom producenten enbart får betalt för elektriciteten och så att säga förlorar överföringen och elskatten.

Trots att elförbrukning och elproduktion på årsbasis passar rätt väl ihop i exemplet, är verkligheten ändå en annan. Behovet av eleffekt på en mjölkgård varierar under olika tider på dygnet beroende på vilka funktioner som är i gång i ladugården. Därför borde CHP-anläggningen vara dimensionerad nära topplasten och kunna ställa in sig på mindre förbrukningsvolym.

Ett system med nettomätning av elförbrukning och elproduktion skulle förbättra möjligheterna till en rationell drift av små kraftproducenters anläggningar, systemet möjliggör användandet av elnätet som en ackumulator. Principen bygger på att en elkonsument kan nolla hela eller delar av sin egen elräkning genom att mata in el i nätet utan att förlora överföringsdelen av elpriset. Dylika arrangemang är i användning på många håll i världen och har också diskuterats i vårt land. Ännu så länge är nettomätning inte en möjlighet för finska små elproducenter.

Uppvärmningsenergins kostnader är beroende av med vad värmen produceras, här kan man tänka sig att gården bränner 10 000 liter brännolja för byggnadernas uppvärmning. Med ett skattefritt oljepris på 900 €/m³ (april 2012) ger förbrukningen en årlig oljekostnad på 9 000 euro. Med en antagen pannverkningsgrad på 90 procent innebär en oljeförbrukning på 10 000 liter ett värmebehov på 90 000 kilowattimmar. Uppvärmningsbehovets fördelning under olika månader är i nedanstående exempel beräknat på basis av hur uppvärmningsbehovet statistiskt fördelas över året (bild 26).

I praktiken kan man genom att mata in mer material i en biogasanläggning på vintern än på sommaren styra biogasanläggningens effekt en del. I det här fallet har det endast räknats med flytgödsel som tillförs i lika mängd varje dag året runt. 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 200 000 kilowattimmar värmeenergi över. Mest värme blir över sommartid. Om gården skulle ha möjlighet att mata in den överflödiga värmen till ett närvärmenät året runt kunde man räkna med en tilläggsintäkt för det här. Utan vettig avsättning för värmen är den värdelös. Överskottsvärme kan sommardag också utnyttjas för torkning av exempelvis hö eller flis.

Inmatningstariff och investeringsstöd erbjuds

Biogasanläggningarnas stora framgång i Tyskland bygger helt på att man får ett bra pris per såld kilowattimme grön elektricitet. En tysk producent av biogas får cirka 15 cent per såld kilowattimme, medan motsvarande siffra i Finland är 13,35 cent, men enbart för anläggningar med en eleffekt som överstiger 100 kilowatt (generator-effekt minst 100 kVA). För anläggningar på under 100 kilowatt som vill mata in el till nätet gäller marknadspriset för el som är cirka 4 cent/kWh (april 2012).

En biogasanläggning som inte ansluts till systemet med inmatningstariffer kan få investeringsstöd, medan en anläggning som ansluts till tariffsystemet inte kan få det. För anläggningar som ansluts till tariffsystemet gäller dessutom att de inte får innehålla begagnade komponenter.

För mindre anläggningar lönar det sig bättre att gå in för att ta investeringsstödet och dimensionera anläggningen så att man själv har avsättning för den producerade elektriciteten. Vid kraftvärme-produktion är alltid värmen huvudprodukten. Det lönar sig alltså att

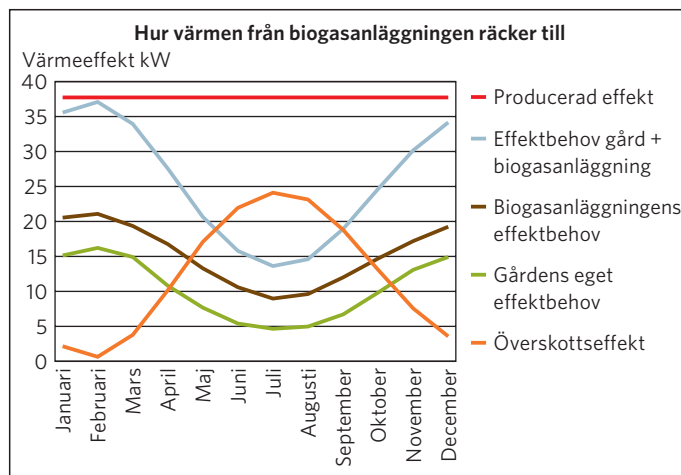


Bild 26. Den värmeeffekt som anläggningen producerar räcker till för biogasanläggningens och gårdens byggnaders sammanlagda effektbehov året runt när man räknar med månatliga medeltemperaturer, men under hårda köldknäppar blir det knappt med värmen. Mitt i sommaren har man en överskottseffekt på cirka 25 kWh.

satsa på att hitta vettig avsättning för värmen, om det inte går på den egna gården kan dragandet av en gaslinje till en närbelägen industri-anläggning, ett kommuncentrum eller liknande vara värt att överväga.

Förbättrande av lönsamheten

De biogasanläggningar som i dag är i drift i Finland lever till stor del på så kallade portavgifter för biologiskt nedbrytbart avfall som hämtas till biogasanläggningen för behandling. Portavgifter är något som man i allmänhet förknippar med stora biogasanläggningar, men i sig är det fullt möjligt att ta emot och behandla biologiskt nedbrytbart avfall och att få betalt för det också vid en liten anläggning. Även i Finland finns det exempel på godkända lantbruksbaserade biogasanläggningar som tar emot avfall som ger portavgifter.

För att en lantbruksbaserad biogasanläggning ska vara lönsam vid drift på gödsel eller ensilage krävs dels att anläggningen är billig och fungerar och dels att det finns god avsättning för den producerade energin. Ett sätt att komma till bättre lönsamhet är att förädla av

gasen till trafikbränsle – förutsatt att man får gasen att gå åt. Genom produktion av fordonsgas blir man kvitt problemet med överkottsvärmen sommartid och dessutom får man ett ungefär dubbelt så högt pris för den producerade energin i jämförelse med produktion av el och värme. Samtidigt blir ändå anläggningen dyrare och dessutom binder hanteringen av gasförsäljningen mer resurser än vad produktion av el och värme gör.

Vad får då biogasanläggningen i exemplet kosta för att vara lönsam?

Gården kunde i grova drag producera sin egen el med biogasanläggningen. Med 2012 års energipriser skulle elproduktionens värde vara cirka 15 000 euro och värmeenergin värde cirka 9 000 euro per år eller sammanlagt 24 000 euro. Om man beaktar enbart investeringskostnaderna skulle anläggningen få kosta maximalt 200 000

euro för att den med hjälp av energiproduktionen ska kunna betala sig på 10 år, om räntan är 3 procent. För byggande av en lantbruksbaserad biogasanläggning och för en biogasanläggning i företagsform på landsbygden har man kunnat få investeringsstöd under de senaste åren. Mer information om eventuella stöd och stödprocenter fås från Landsbygdsverket (www.mavi.fi) och NTM-centralerna.

Med de premisser vi i dag har visavi lantbruksbaserade biogasanläggningar kommer varje gård med gödsel inte att kunna bygga sig en egen biogasanläggning. Lantbruksbaserade biogasanläggningar kommer inte att bli lika vanliga hos oss som exempelvis i Tyskland. Trots det här finns det ändå möjligheter till en lönsam drift av biogasanläggningar på gårdar, också utan rötning av avfall som ger portavgifter. Före investeringsbeslutet är det i varje fall nödvändigt med omsorgsfulla lönsamhetskalkyler, vare sig det är fråga om kraftvärmeproduktion på gården eller om försäljning av gas.

Bild 27. Före investeringsbeslutet är det viktigt att göra noggranna lönsamhetskalkyler för produktionen av biogas.



Produktion av biogas på gården

Guiden innehåller grundläggande information om biogasproduktionens möjligheter. Guiden riktar sig till jordbrukare och andra som är intresserade av biogasproduktion.

Trots ett stort intresse har det hittills saknats ett enhetligt grundmaterial om saken på finska.

Guiden baserar sig på Fredrik Eks guide Produktion av biogas på gården, som är utgiven av Svenska lantbrukssällskapens förbund. Översättningen till finska har granskats av Juha Luostarinen på Metener Oy och materialet har även bearbetats på Motiva. Motiva har gett ut guiden på beställning av arbets- och näringsministeriet.



Bild Pirkko Kanervisto / Vastavalo.fi

Motiva

Urho Kekkonsens gata 4-6 A
PB 489
00101 Helsingfors
Telefon 0424 2811
www.motiva.fi