

**JTI-rapport
KRETSLOPP & AVFALL
Nr 21**

Gårdsbaserad biogas på Plönninge naturbruksgymnasium

En förstudie med det tyska konceptet som grund

*Farm scale biogas at Plönninge
agricultural upper secondary school*

Sören Nilsson

© **Jordbrukstekniska institutet 2000**
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

Tryck: Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 2000
ISSN 1401-4955

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	7
Summary	7
Inledning	8
Syfte och mål.....	9
Litteraturoversikt.....	10
Introduktion om gårdsbaserad rötning.....	10
Lämpliga substrat i en rötningsprocess	13
Miljökonsekvenser av en gårdsbaserad biogasanläggning.....	15
Reaktorutformningar för gårdsbaserade anläggningar	16
Läget för gårdsbaserad biogas i några länder	18
Material och metoder	19
Avfall och gödsel	19
Dimensionering	20
Komponenter	21
Ekonomi	21
Känslighetsanalys	22
Tillgänglig gödsel och avfall.....	22
Dimensionering.....	26
Biogasanläggningen	27
Komponenter i anläggningen	28
Rötkammare av betong.....	28
Gasbehandling	32
Membrantäckning.....	33
Propelleromrörare i stående rötkammare	34
Gaspanna	35
Gasmotorer	36
Förbehandling av avfallssubstraten	38
Förslag på utformning av biogasanläggning på Plönninge	39
Ekonomi.....	41
Investeringskostnader	41
Annuitet av investeringen.....	43

Drift av anläggningen	44
Värde av producerad energi.....	45
Känslighetsanalys.....	47
Investeringsbidrag	47
Energirikt avfall istället för hästgödsel	48
Slutsatser.....	49
Referenser	50
Bilagor.....	53

Förord

Denna rapport, som ingår i rapportserien kretslopp och avfall, är utfört av Sören Nilsson som ett examensarbete i enlighet med lantbruksuniversitetets fordringar för agronomexamen. Examensarbetet är finansierat av Landstinget Halland, där agronom Olof Bågenholm från Naturresursforum har varit ansvarig kontaktperson. Examensarbetet utgör även en del i Landstinget Hallands ansökan om lokalt investeringsstöd för uppförandet av en gårdsbaserad biogasanläggning på Plönningegymnasiet utanför Halmstad.

Handledare för examensarbetet har Mats Edström, JTI, varit och examinator har varit Håkan Jönsson, institutionen för lantbruksteknik, SLU.

Författaren vill speciellt tacka Mats Edström för bra och mycket engagerad handledning, all trevlig personal på JTI som alltid ställt upp när jag behövt fråga om något samt Olof Bågenholm för stort engagemang för mitt examensarbete och värdefulla kommentarer under skrivandet.

Ultuna, Uppsala i november 1999

Björn Sundell

Chef för Jordbrukstekniska institutet

Sammanfattning

I detta examensarbete, som utförts på uppdrag av Landstinget Halland, har en förstudie angående uppförandet av en gårdsbaserad biogasanläggning på Plönninge naturbruksgymnasium genomförts. I rapporten ingår litteraturstudie och inventering av lämpliga rötningssubstrat inklusive satsvis utrötning av hästgödsel och svampkompost (odlingssubstrat för champinjoner). Vidare har det utförts en grov dimensionering av två alternativa storlekar med förslag på huvudkomponenter i en gårdsbaserad biogasanläggning på Plönninge, samt en ekonomisk kalkyl över investering och drift av biogasanläggningen och en ekonomisk känslighetsanalys.

Som grund har det koncept som används i tyska nybyggnationer använts på grund av att det byggts minst 200 gårdsbaserade biogasanläggningar där under de senaste 2-3 åren. Det ”tyska” konceptet baseras på en platsgjuten stående rötkammare av betong som byggs på samma sätt som en flytgödselbehållare, där taket antingen består av ett gjutet betonglock eller en flexibel membrantäckning av gummimaterial som även kan fungera som gaslager. Den producerade biogasens dominerande användningsområde är elgenerering i en så kallad dual-fuelmotor som är en något modifierad dieselmotor vilken använder diesel som tändbränsle (utgör ca 10 % av bränsleblandningen).

I litteraturstudien har dels en allmän del, dels en mer specifik del genomförts. Den specifika delen omfattar rötkammare inklusive membrantäckning, propelleromrörare, gaspanna och gasmotor. I den ekonomiska kalkylen, som bygger på ett mycket lågt investeringsbehov motsvarande att anläggningen kan uppföras till en lika låg kostnad som i Tyskland, har erforderligt värmepris räknats ut om biogasen förbränns i en gaspanna respektive erforderligt elpris om en dual-fuelmotor används och den producerade värmen värderas lika som värme producerad från olja. Dessa har sedan jämförts med nuvarande energipris för uppvärmning med olja respektive el från nätet. Kalkylen visar att elgenerering i dual-fuelmotor på Plönninge är mycket dyrare än köpt el, medan värmeproduktion i gaspanna är 15-30 % dyrare än att producera värme från olja utan något bidrag.

I känslighetsanalysen analyserades vilket investeringsbidrag som behövs för att täcka drifts- och kapitalkostnaden där producerad värme värderas som olja och el värderas som köpt el. Vidare studerades den ekonomiska konsekvensen av att röta avfall som ej kräver avancerad förbehandling och har en relativt hög gasproduktion i stället för hästgödsel. Med dessa förutsättningar kan kostnaden för uppvärmning med biogas bli lägre än för uppvärmning med olja, speciellt om en behandlingsavgift kan erhållas och kostnaden för förbehandling är låg.

Summary

In this examination work the possibility for Plönninge upper secondary school outside Halmstad in Sweden to build a biogas plant to digest manure and some organic waste products have been studied. Including parts is literature study, investigation of possible digestion products including a batch digestion of horse manure and fungicompost (the cultivation substrate was used for mushrooms).

The biogas plant has been dimensioned for two different sizes and suggestions of the main components in the plant. There has also been made an economic analysis for investment- and operation costs and an economic sensitivity analysis.

The literature study includes the design and construction of farm scale biogas plants. The study investigate components like digester (of concrete), membrane cover of the digester, propeller stirrer, gas burner and gas engine.

The economic analysis is based on a small investment cost, corresponding to the German cost of building a farm scale biogas plant. Required price for heat is calculated if a gas burner is used and is then compared to present price for energy from heating with oil. Required price for electricity if a gas engine is used for co-generation has also been calculated. Produced heat from the gas engine estimates the same value as heat produced from oil. Required prices for produced electricity has then been compared to bought electricity from the net.

In the economic sensitivity analysis there has been a study over required investment subsidy to the plant to cover the capital cost of the investment and cost for operation. The economic consequence of digesting an organic waste with small need for pre-treatment and a relatively high specific gas production instead of horse manure has also been analysed.

Inledning

Till följd av oljekris och kraftigt stigande energipriser under 1970-talet väcktes intresset för att producera biogas från gödsel och avfall i gårdsanläggningar i Europa. Sammanlagt byggdes mellan 500 och 600 gårdsbaserade anläggningar mellan år 1970 och 1985, varav ca 15 i Sverige (Wikberg & Edström, 1998). Under mitten av 1980-talet avtog byggandet av nya anläggningar, främst på grund av sjunkande energipriser och minskade statliga bidrag. Under 1990-talet har gårdsbaserad biogas åter fått ett uppsving i Europa, där framförallt Tyskland, Österrike och Danmark utmärker sig med många nybyggnationer (Lindberg & Edström, 1998).

I Sverige har intresset varit relativt svalt för gårdsbaserad biogas fram till mitten av 1990-talet. Intresset har istället varit större för kommunala biogasanläggningar för rötning av avfall samt gödsel. Under senare delen av 1990-talet har intresset för rötning på gårdsnivå ökat, bland annat beroende på ett ökat intresse för kretslopps-samhället och möjligheten att söka pengar ur det lokala investeringsprogrammet för miljöförbättrande åtgärder.

Vid rötning av organiskt material ändras dess egenskaper och biogas som till största delen består av metan bildas. Gasen är energirik och kan användas till uppvärmning, som bränsle i fordon eller i en kraftvärmeanläggning för el- och värmeproduktion (Thyselius, 1982). Biogas är ett bra bränsle som har många fördelar jämfört med de flesta andra bränslen. Det är ett högvärdigt bränsle som inte ger något nettobidrag till växthuseffekten vid fullständig förbränning. I LRF:s informationsskrift (LRF, 1997) om alternativa drivmedel rankas den som det mest miljövänliga bränslet av biobränslena biogas, rapsmetylester (RME) och etanol.

Plönninge naturbruksgymnasium utanför Halmstad är intresserat av att uppföra en gårdsbaserad biogasanläggning för att bland annat främja processen att ersätta fossila och nukleära energikällor med bioenergi samt bidra till en förbättrad miljö. Landstinget i Halland som är huvudman för Plönninge har även ansökt om bidrag för biogasanläggningen ur det lokala investeringsprogrammet. Anläggningen är tänkt att fungera som en länk i utvecklingen av förnyelsebar energi genom att konkretisera energifrågor i skolans utbildning, möjliggöra ett utvecklingsarbete av gårdsbaserad rötning och utgöra ett pilotexempel mot jordbruket (Landstinget Halland, 1998). Den producerade biogasen skall i första hand användas för en basproduktion av värme till skolan och producera elenergi om ett överskott av biogas uppkommer.

Syfte och mål

Syftet med detta arbete var att utreda om det är realistiskt ur praktisk och ekonomisk synvinkel att bygga en gårdsbaserad biogasanläggning på Plönninge naturbruksgymnasium i Halland utanför Halmstad.

I arbetet undersöktes lämplig utformning av gårdsbaserade biogasanläggningar i Sverige där speciell vikt lades vid rötchammare, omrörare och gasmotor eller gaspanna. Som grund användes det koncept som använts i Tyskland, vilket sedan modifierades för Plönninges förhållanden.

Den tyska kostnadsbilden för byggnation och drift undersöktes med vissa svenska kompletteringar och en ekonomisk känslighetsanalys utfördes med avseende på investeringsbidrag och rötning av avfall för att undersöka effekten på anläggningens ekonomi.

Avgränsningar

- Biogasanläggningen rötter maximalt 50 m³ substrat per dygn där minst hälften av vikten ingående substrat utgörs av gödsel. Endast rötning utan återföring av vätska har utretts. Anläggningen har ingen speciell behandling mot lukt och skötseln är så enkel att den kan utföras av lantbrukaren.
- Säkerhetsaspekter med natur-/biogas och specifika regler för leverans av ström ut på nätet har inte utretts.
- Sönderdelning av fiber- och strårrika material har endast utretts översiktligt.

Litteraturoversikt

Introduktion om gårdsbaserad rötning

Mikrobiologi

Den anaeroba nedbrytningsprocessen kan indelas i fyra större steg, hydrolys, syrabildning, ättiksyrabildning och metanbildning (Jarvis, 1996), se bild 1.

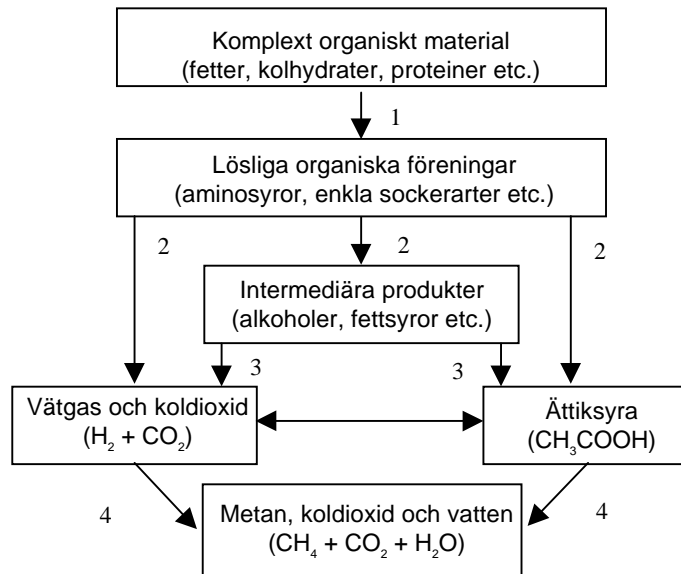


Bild 1. De fyra stegen i röttningsprocessen (Jarvis, 1996). För förklaring av siffrorna, se texten.

1. **Hydrolys.** Komplexa polymerer som cellulosa, hemicellulosa, protein och fett omvandlas till monomerer (enkla sockerarter, aminosyror och längre fettsyror) med hjälp av främst extracellulära enzymer. Dessa produceras av de bakterier som deltar under hydrolys och fermentation och kallas hydrolyserande (spjälkande) bakterier.

2. **Syrabildning.** Monomerer bryts ned till kortare fettsyror, alkoholer, vätgas och koldioxid av fermentativa bakterier.

3. **Ättiksyrabildning.** Produkterna från fermentationssteget omvandlas anaerobt till ättiksyra, vätgas och koldioxid.

4. **Metanbildning.** Metan och koldioxid produceras av metanbildande bakterier. De använder ättiksyra eller koldioxid och vätgas som bildats under föregående steg.

De metanbildande bakterierna är känsliga och hämmas bl.a. av alltför höga halter av ammoniak, kalium, fosfor, tungmetaller, vissa fettsyror och svavel (Jarvis, 1996).

Biogas från gödsel

Gödsel från idisslare ger mindre gas i en biogasanläggning än gödsel från svin och fjäderfä beroende på att fodret brutits ned anaerobt i idisslarnas magar (Thyselius, 1982).

Cirka 80 % av torrsubstansen, ts, i gödsel utgörs av organiskt material, VS (Volatile Solids), (Thyselius, 1982). I VS ingår även organiskt material som ej bryts ned vid en rötningsprocess, t.ex. lignin. Trots att allt organiskt material inte bryts ned ger VS ändå en bra indikation på hur mycket gas som kan produceras och används ofta eftersom det är relativt lätt att ta reda på torrsubstans (ts) och glödförlust (VS) för ett material.

Den biogasmängd som kan erhållas från ett visst substrat anges vanligen i m³ eller liter metan per kg VS.

Egenskaper för rötad gödsel

Under rötningsprocessen kommer ts-halten att minska eftersom organiskt material bryts ned under rötning. Ammoniumkvävehalten ökar och pH-värdet stiger omkring en halv enhet beroende på att organiskt kväve bryts ned till ammoniumform (Christensen m.fl., 1995; Sommer & Christensen, 1990). Den stora fördelen med rötad gödsel är emellertid att den är homogen jämfört med orötad flyt- eller fastgödsel (Thyselius, 1982).

I ett danskt försök med orötad och rötad svinflytgödsel var skillnaden gällande ammoniakförlust vid spridning och innehåll av ammonium- och totalkväve så liten att den inte var signifikant (Sommer & Christensen, 1990). Detta visar att ämnet är komplext och att det inte är självklart att ammoniumkvävehalten är högre för rötad gödsel bl.a. beroende på att risken för lagrings- och spridningsförluster är större.

Lagring av rötrest

Risken för ammoniakförlust till luften vid lagring och spridning är större för rötad gödsel (blandning av nöt, svin och avfall) än för svin- och speciellt nötflytgödsel (Holm-Nielsen m.fl., 1993). Det beror på rötrestens större andel ammoniumkväve vid lagringens början och att den är mer homogen och inte bildar något svämtäcke vid lagringen. 60-70 % av ammoniumkvävet kan avdunsta som ammoniak vid oförsiktig hantering under lagringen (Holm-Nielsen m.fl., 1993).

Problem med ammoniakavgång vid påfyllning av rötrestbehållaren kan åtgärdas genom att fylla på ny rötrest från eller nära botten av behållaren. Ammoniakförlust från lagring kan reduceras med mer än 90 % genom att tillsätta hackad halm eller lecakulor som bildar ett täckande skikt på ytan av rötresten (Christensen m.fl., 1995). Ett annat sätt att minska lagringsförlusterna är att bygga ett tak över behållaren.

Rötningstemperatur

Rötning kan ske inom två till tre olika temperaturintervall där de två vanligaste är mesofil och termofil temperatur, se tabell 1. Psykrofil temperatur används sällan i industriella processer, utan förekommer vid uppstart av dessa och vid förruttnelseprocesser i naturen.

Tabell 1. Temperaturområden vid rötning (Thyselius, 1982).

Temperaturområde	Temperatur °C
Psykrofil	4-20
Mesofil	20-40
Termofil	50-60

Belastning

Belastningen för en röttkammare anges vanligen i kg organiskt material per m³ röttkammarvolym och dygn, kg VS/(m³ * d).

Om belastningen på röttkammaren är för hög hinner de metanbildande bakterierna inte omsätta alla organiska syror och all vätgas som bildas vid hydrolysen (Thyselius, 1982). Ökande halt organiska syror leder till sjunkande pH-värde som i sin tur hämmar de metanbildande bakterierna. Normala uppehållstider och belastningar anges i tabell 2.

Tabell 2. Normala värden på uppehållstid och belastning vid rötning (Nordberg, pers. medd.).

Temperaturområde	Upphållstid	Belastning
Mesofil (37°C)	min 15-25 dygn	2-4 kg VS/(m ³ *d)
Termofil (55°C)	min 10-15 dygn	5-8 kg VS/(m ³ *d)

Termofil rötning är snabbare än mesofil beroende på att bakterierna i biogasprocessen ökar omsättningshastigheten av nedbrytbart material vid en ökande temperatur (Wellinger m.fl., 1991).

Om ammoniumhalten är hög i rötningssubstratet kan det leda till problem i processen eftersom hög halt löst ammoniak hämmar de metanbildande bakterierna. Problem kan uppkomma vid halter över 2-3 gram ammoniumkväve per liter substrat och är temperatur- och pH-beroende (Wellinger m.fl., 1991). Hög temperatur och högt pH leder till ökad andel ammoniak och därmed ökade problem i processen.

Biogasens sammansättning

Den vanligaste beståndsdel i biogas är metan, CH₄, med 50-65 volymprocent. Efter metan kommer koldioxid med 25-40 volymprocent och resten utgörs av bl.a. vätgas, kvävgas, syrgas och svavelväte, se tabell 3.

Tabell 3. Biogasens sammansättning (Thyselius, 1982).

Ämne	Kemisk formel	Volymprocent
Metan	CH ₄	50-65
Koldioxid	CO ₂	25-40
Kolmonoxid	CO	0-0,3
Vätgas	H ₂	0-3,0
Kvävgas	N ₂	1-5,0
Syrgas	O ₂	0-0,5
Svavelväte	H ₂ S	0,05-1,5

Metan står för merparten av energiinnehållet. Det effektiva värmevärdet för ren metan är 35,3 MJ/nm³ eller 9,8 kWh/nm³.

Lämpliga substrat i en rötningsprocess

Ett lämpligt rötningssubstrat innehåller mycket energirikt och lättnedbrytbart material, och kan användas utan avancerad förbehandling. Det skall helst vara homogent och så pass flytande att det är pumpbart eller lätt kan göras pumpbart genom spädning med vatten. Ur energisynpunkt skall ett bra material innehålla så mycket fett som möjligt då fett ger mer energi per kg jämfört med protein och kolhydrater, se tabell 4.

Tabell 4. Möjliga gasmängder från fett, protein och kolhydrat vid anaerob nedbrytning (Hauer, 1993).

Ämne	Gasmängd m ³ /kg	Metanhalt vol%	Koldioxidhalt vol%	Energi i gas kWh/kg substrat
Fett	1,200	67	33	7,9
Protein	0,700	70	30	4,8
Kolhydrat	0,800	50	50	3,9

Protein kommer näst efter fett i energiutbyte per kg, men kan ge problem i processen på grund av dess kväveinnehåll, som omvandlas till ammoniumkväve vid nedbrytningen och hämmar metanbakterierna vid höga koncentrationer (Thyselius, 1982). Kolhydrater ger ungefär lika mycket biogas som protein, men metan-koncentrationen är lägre och därmed också den utvinningsbara energin ur gasen.

Bestämmelser för rötning av avfall

Det finns ännu inga fastställda regler för var kompost och rötrest får spridas eller tillåtet innehåll av oönskade ämnen som tungmetaller och bakterier. Regler håller dock på att arbetas fram för att skapa ett certifieringssystem för detta för anläggningar på kommunal nivå (SNV, 1998).

För flera av substraten som kan användas i en röttningsanläggning finns dock fastställda regler för hur de skall hanteras. Detta gäller för t.ex. animaliskt avfall och slam från avloppsbehandling.

De viktigaste reglerna är:

- Kungörelse om användningen av avloppsslam i jordbruket (SNFS 1994:2 med ändring i SNFS 1998:4).
- Jordbruksverkets föreskrifter om hanteringen av djurkadaver och annat animaliskt avfall (SJVFS 1998:34).
- Renhållningsförordningen (SFS 1998:902).
- EG:s regler för ekologisk produktion (Rådets förordning 1935/95 t.o.m. ändring 330/99; Jordbruksverket, 1999).
- KRAV-reglerna (KRAV, 1999).

Kort sammanfattning av reglerna

Avloppsslam. Slammet skall behandlas så att lätt nedbrytbara ämnen bryts ned och att hälsoriskerna minskar markant. Detta kan ske genom kompostering, rötning eller lagring under lång tid. Slam får ej spridas på vissa grödor och skall klara de gränsvärden som finns för innehåll av tungmetaller (SNFS 1994:2).

Animaliskt avfall. Med animaliskt avfall menas material som helt eller delvis kommer från djur som hålls av människan. Det animaliska avfallet delas in i tre kategorier: högriskavfall, lågriskavfall och matavfall. Till högriskavfall räknas avfall som kan tänkas medföra allvarliga risker för människors eller djurs hälsa, t.ex. slaktade sjuka djur och till lågriskavfall hör avfall från friska slaktade djur. Högriskavfall skall förbrännas eller steriliseras vid 133°C och 3 bars tryck i 20 minuter. Lågriskavfall från däggdjur skall hygieniseras vid minst 70°C under minst en timme och sedan rötas eller komposteras för att garantera att materialet inte kan användas som foder (SJVFS 1998:34). Till matavfall räknas hushållsavfall i form av matrester med animaliska beståndsdelar eller värmebehandlat kött och hanteringen regleras i renhållningsförordningen.

Renhållningsförordningen. Kommunfullmäktige i varje enskild kommun är skyldig att meddela närmare föreskrifter om hanteringen av hushållsavfall. Om en fastighetsägare vill kompostera annat än trädgårdsavfall är han/hon skyldig att anmäla det till kommunen. Från 2005-01-01 får organiskt avfall ej deponeras (SFS 1998:902).

EG:s regler för ekologisk produktion. För att en produkt skall få säljas som ekologiskt producerad inom EU skall produktionen följa unionens regler utformade av EG-kommissionen. Tillåtna gödselmedel enligt EG-reglerna är stallgödsel och annat organisk material från ekologiska gårdar och odling av kvävefixerande växter. Om detta inte räcker kan t.ex. stallgödsel från konventionell djurhållning, komposterat hushållsavfall eller komposterade vegetabiliska material få spridas under förutsättning att behovet är konstaterat av t.ex. KRAV (Jorbruksverket, 1999). EG:s regler är överordnade enskilda länders eller organisationers bestämmelser för ekologisk produktion och sätter på så sätt en miniminivå.

KRAV-reglerna. De gäller endast i Sverige och är strängare än EG:s på vissa punkter. När det gäller spridning av hushållsavfall och vegetabiliska produkter vill KRAV att EU ändrar på sina regler och även godkänner rötning som behandlingsmetod förutom kompostering (Björling, pers. medd.).

Utöver dessa regleringar kan bland annat livsmedelsföretag som ARLA och SCAN ställa krav på sina leverantörer. Företagen kan vägra att ta emot produkter om man t.ex. spridit avloppsslam på sina åkrar för att företagen vill ha fortsatt förtroende hos kunderna i livsmedelsbutiken.

Miljökonsekvenser av en gårdsbaserad biogasanläggning

Om gödsel rötas kommer flera miljöfördelar att uppnås jämfört med orötad gödsel.

- Lukten minskar markant efter rötning jämfört med innan, vilket är speciellt viktigt för svin- och hönsködsel som luktar kraftigt vid lagring och speciellt vid spridning (Thyselius, 1982). Gödseln attraherar inte heller någraflugor (Thyselius, 1982).
- Grobarheten för ogräsfrö minskar (Holm-Nielsen m.fl., 1993) och en reduktion av sjukdomsalstrande organismer (Thyselius, 1982) sker vid termofil rötning.
- Utsläppen av CO₂ och CH₄ minskar jämfört med flyt- eller fastgödselhantering (Christensen m.fl., 1995). Minskade CO₂-utsläpp beror på att energin i biogasen kan ersätta ett fossilt bränsle för el- och värmeproduktion. Minskade CH₄-utsläpp beror på att gasen som bildas vid anaerob nedbrytning samlas upp istället för att gå upp i luften som vid vanlig flytgödselhantering.
- Kväveutnyttjandet kan förbättras beroende på att en större andel är mer direkt tillgängligt för växterna vid spridning.
- Om organiskt avfall rötas kan energi och växtnäring tillgodogöras från avfallet samtidigt som deponering kan undvikas.

Reaktorutformningar för gårdsbaserade anläggningar

Processteknik

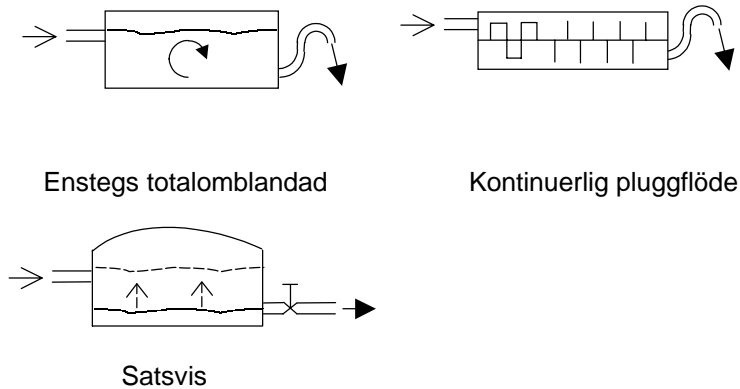


Bild 2. Vanliga processtyper vid gårdsbaserad rötning.

De tre vanligaste processtyperna vid rötning på gårdsnivå är:

- Enstegs totalomblandad process där substrat matas in till rötchkammaren flera gånger i veckan samtidigt som lika mycket förs ut. Substratet blandas om och samtliga steg i den mikrobiologiska aktiviteten sker samtidigt i hela behållaren. Denna typ av process sker normalt i en stående rötchkammare (Edström & Wikberg, 1993) och är den dominerande rötningstekniken på gårdsnivå i Europa (Köberle, 1997).
- Kontinuerlig pluggflödesprocess där matning av substrat sker på samma sätt som i föregående fall. Skillnaden är att substratet inte blandas om utan nedbrytningens olika steg sker på olika ställen i reaktorn. Processen sker vanligtvis i liggande ståltankar (Edström & Wikberg, 1993).
- Satsvis utrötning där substrat matas in efterhand under lång tid. Det mesta av substratet förs ut på en gång. Processen sker i efterröttningslager och i psykrofila anläggningar av t.ex. soft-top modell (Schulz, 1996).

Vätskevolymen i rötchkammaren är relativt konstant vid kontinuerliga processer. Den brukar vara ca 80 % av rötchkammarens totala volym och kallas den våta volymen. I efterröttningslager varierar vätskevolymen i rötchkammaren på grund av att substratet endast matas ut ett fåtal gånger per år (Köberle, 1997).

Reaktorutformningar

Liggande rötchkammare av stål. En vanlig storlek på en liggande ståltank är i Tyskland 50-100 m³ och i Danmark upp till 250 m³. Storleken på reaktortanken begränsas av hur stora och tunga transporter man får framföra på allmän väg (Wikberg & Edström, 1998). Liggande rötchkammare är bra för ”problemfyllda” substrat som kycklinggödsel och matavfall med t.ex. sand inblandat eller avfall med stort innehåll av fibrer och strå (Köberle, 1997).

År 1985 var mer än 60 % av alla gårdsbaserade anläggningar i Tyskland av denna typ, men idag utgör de endast ca 10 % (Köberle, 1997). Det beror på att de anläggningar som byggts efter 1985 har varit av andra modeller. I Danmark är anläggningstypen relativt vanlig och anläggs även idag. De flesta anläggningarna är av ”smedemester”-typ (Arbejdsgruppen for gårdsbiogasanlegg, 1997). Dessa är utvecklade av dansk smedemesterforening och nordvestjysk folkecenter for vedvarende energi under mitten av 1980-talet (Möller m.fl., 1990).

Stående röttkammare av stål. Stående röttkammare av stål används ofta i anläggningar som säljs i färdigtillverkat format, s.k. nyckelfärdiga eller ”turn-key” anläggningar. Reaktortanken är ofta ursprungligen avsedd som gödselbehållare eller spannmålssilo som sedan modifierats för biogasändamål. Anläggningstypen är ovanlig i Tyskland, men i Danmark finns flera anläggningar av denna typ som är byggda på senare tid (Arbejdsgruppen for gårdsbiogasanlegg, 1997).

Stående röttkammare av betong. Denna reaktortyp är baserad på befintlig eller nybyggd flytgödselbehållare i betong för att på så sätt kunna bygga en stor reaktorvolym till låg kostnad. Vid nybyggnation gjuts väggar, botten och eventuellt tak på plats för att säkerställa att behållaren blir tillräckligt gastät (Schulz, 1996). Reaktorn placeras ofta helt eller delvis under mark för att spara plats och minska isoleringsbehovet om man inte har problem med högt grundvattenstånd eller berg i dagen (Schulz, 1996). En nackdel med underjordiska röttkammare är att isoleringsmaterial som tål väta och höga marktryck måste användas.

Normala volymer på röttkammare av betong i Tyskland är 250 till 600 m³, men upp till 1200 m³ förekommer i enstaka fall (Köberle, 1997). Behållarens djup är 3-6 meter och diametern är 8-18 meter (Köberle, 1997). I Danmark är normala storlekar 300-1000 m³ (Arbejdsgruppen for gårdsbiogasanlegg, 1997).

Reaktorsystem

Biogasanläggningar med en kombination av kontinuerlig- och lagerreaktor har utvecklats under senare år och används i många gårdsbaserade biogasanläggningar i Tyskland där reaktorerna ligger i serie med den kontinuerliga först (Schulz, 1996). Den andra röttkammaren är av lagertyp, vilket innebär att lagringsbehållaren täcks med ett membran eller förses med ett fast tak för att förhindra ammoniakavgång och för att utvinna mer biogas ur rötresten. Mellan 20 och 40 % av gasproduktionen har i praktiken visat sig komma från lagerreaktorn vid uppehållstider kring sex månader (Schulz, 1996). Lagerreaktorn är oisolerad, uppvärmd och har ingen speciell omrörningsutrustning.

Omrörning

Omrörning i röttkammaren är viktigt för att förbättra nedbrytningen av material genom att blanda materialet, föra bort gasblåsor, fördela värmen i röttkammaren och förhindra svämtäcken och sedimentation av material (Schulz, 1996).

Två olika system är vanliga för att röra om i stående röttkammare, propelleromrörning och pumpomrörning. Propelleromrörning är den vanligaste metoden i gårdsbaserade anläggningar och är en billig och tillförlitlig metod som fungerar bra i de flesta fall (Köberle, 1997).

Omrörning med hjälp av pumpar finns också på många anläggningar. Fördelen med att använda pumpar är god omrörning och att materialet kan sönderdelas något i pumpen beroende på vilken pump man använder. Nackdelar är att pumpen kan sätta igen av stora partiklar och att energiförbrukningen kan bli hög jämfört med propeller (Wikberg & Edström, 1998).

I liggande röt-kammare av stål består omrörningen av flera ”paddlar” som är monterade på armar ut från en horisontal axel i centrum av tanken, se bild 2 sid 16. Omröraren är långsamtgående med en hastighet av 1-3 varv/minut och därför är effektbehovet lågt. Paddlarna transporterar även bort sedimenterat material till sandfång i botten av röt-kammaren (Köberle, 1997).

Läget för gårdsbaserad biogas i några länder

Sverige

I Sverige byggdes sammanlagt 14 anläggningar under åren 1975-1985, varav ca 5 av dessa är i drift idag. Anläggningarna byggdes på grund av oljekrisen i världen och de fick ofta stora investeringsbidrag från staten (Edström & Wikberg, 1993), men de flesta togs ur drift främst på grund av bristande lönsamhet och tekniska problem. Efter 1985 har endast ett fåtal anläggningar byggts, bland annat en i Karlstad och en utanför Göteborg (Lindberg & Edström, 1998; Jocknick, 1998).

Idag märks ett ökande intresse för biogas på gårdsnivå. Detta beror bland annat på att det finns möjlighet att söka bidrag till investeringen ur det lokala investeringsprogrammet. Problem för gårdsbaserad biogas i Sverige är det låga elpriset i förhållande till Danmark och Tyskland, och att anläggningarna riskerar att bli dyra då vi har begränsad kunskap om byggnation av biogasanläggningar på gårdsnivå.

Danmark

I Danmark finns ca 20 gårdsbaserade biogasanläggningar i drift (Lindberg & Edström, 1998). Dessa rötter i huvudsak flytgödsel med viss tillsats av avfall från fiskindustrin på en del anläggningar. Att röta andra avfallssubstrat är inte aktuellt på gårdsnivå eftersom dessa skall hygieniseras vid 70°C i minst en timme eller motsvarande. Avfallssubstraten rötas istället på de större fellesanleggen (Lindberg & Edström, 1998). Även i Danmark har de flesta anläggningarna byggts under oljekrisen och många har också lagts ned på grund av bristande lönsamhet och dåliga konstruktioner. År 1994 beslutade energistyrelsen att bilda en arbetsgrupp för gårdsbaserad biogas och sedan dess har nio anläggningar byggts, enligt olika koncept (Lindberg & Edström, 1998).

Anläggningarna får ca 30 % i investeringsstöd av staten och ett bidrag på 27 öre/kWh för den producerade elen (Edström & Lindberg, 1998). Detta ger en total ersättning för elen på 50-70 öre/kWh.

I Danmark finns det enligt tidskriften Dansk bioenergi (1999) förutsättningar för att uppföra lönsamma gårdsbaserade biogasanläggningar. En förutsättning är dock att anläggningen kan förses med ett energirikt avfall för att komplettera gödseln. Om man endast rötter gödsel är det osäkert om en gårdsbaserad anläggning kan gå runt ekonomiskt (Dansk bioenergi, 1999). Det är också viktigt att man kan

tillgodogöra sig värmeproduktionen från anläggningen. Den kan används till att värma bostäder och lokaler i närheten.

Tyskland

I Tyskland finns närmare 400 gårdsbaserade biogasanläggningar där de flesta ligger i delstaterna Bayern och Baden-Württemberg (Köberle, 1997). Uppförandet har skett under tre perioder, efter andra världskriget, under oljekrisen på 1970- och 1980-talet och under de senaste fem åren. Det senaste uppsvinget beror på till stor del på politiska styrmedel, hög ersättning för producerad el och ökad erfarenhet och kunnande av att bygga biogasanläggningar på gårdsnivå (Lindberg & Edström, 1998).

Under de senaste fem åren har mer än 200 anläggningar byggts där den dominerande anläggningstypen är stående röttkammare i betong (Köberle, 1997). De flesta anläggningarna rötar också avfall för att höja gasproduktionen och få en intäkt i form av behandlingsavgift för avfallet. Vissa av avfallen måste hygieniseras, t.ex. matavfall.

Anläggningarna kan erhålla 5-35 % i investeringsstöd från staten och ersättningen för elen ut på nätet är ca 70 öre/kWh (Lindberg & Edström, 1998).

Material och metoder

Avfall och gödsel

Beskrivning av Plönningegymnasiets jordbruk

Plönninge brukar 345 ha varav 95 ha är skog och 228 ha åker. Av åkermarken ägs 101 ha och resten arrenderas (Landstinget Halland, 1998).

Jordbruket har flytgödselhantering från ca 50 mjölkkor plus rekrytering och djupströgödsel från 5 dikor och ca 10 ungnöt. Gödseln från svin är i form av kletgödsel från 45 suggor, 300 slaktvinsplatser och 57 suggringsplatser. Det finns även 10 tackor med lamm som producerar djupströgödsel (Bågenholm, pers. medd.).

På skolan finns 56 hästar i ett nybyggt stall som används vid undervisningen på hästhållningsinriktningen. Hästarna är utomhus hela dygnet under sommarlovet, 15 juni-15 augusti. Under terminerna är hästarna mestadels i sina boxar, men 5-6 timmar per dygn är de utomhus (Bågenholm, pers. medd.).

Champinjonodling

Några hundra meter norr om Plönninge ligger champinjonodlingen Nilsagårds champinjoner AB.

Odlingen av champinjoner sker i tio stora rum med 12 avlånga bäddar per rum. Sju av tio rum används idag där champinjonerna odlas sju veckor innan det är dags för skörd, vilket innebär att ett rum i veckan töms på svamp och odlingssubstrat. När odlingen avslutats hygieniseras rummen och bäddarna vid 70°C i

10 timmar för att undvika problem med sjukdomar vid odlingen (Svensson, pers. medd.).

Komposten som svampen odlas i består av gödsel från häst, höns och svin samt halm och torv. Varje vecka förbrukas totalt ca 35 ton färsk svampkompost. Ut väger komposten ca 28 ton beroende på att vattenhalten sjunkit och att organiskt material brutits ned (Svensson, pers. medd.).

Provtagning av avfall och gödsel

Provtagning utfördes under augusti 1999 på färsk och använd svampkompost, kletgödsel och urin från svin, nötflytgödsel, hästgödsel och ensilage. Ett representativt prov på 2-5 liter togs ut och analyserades sedan vid JTI med avseende på ts, VS, ammoniumkväve och totalt Kjeldalkväve. Färsk svampkompost och ensilage har endast analyserats med avseende på ts och VS.

Satsvis utrötning utfördes på hästgödsel och använd svampkompost vid JTI. Innan rötning maldes avfallen två gånger i en köttkvarn ned till 5-10 mm partikelstorlek. 100 g organiskt material (VS) av avfallen rötades mesofilt vid 37°C tillsammans med ca 3,5 liter ymp (rötrest från Laholms biogasanläggning) för att få rätt bakterieflora. Rötning försöket pågick under 67 dygn där matning av avfall skedde tre gånger per vecka under vecka 1-5 (dag 0-30).

Tillförseln var 15,0 g VS vecka 1, 19,5 g VS vecka 2, 22,5 g VS vecka 3, 25,5 g VS vecka 4 och 17,5 g VS vecka 5.

Under försöket mättes volymen gas och halten koldioxid ungefär tre gånger per vecka. Den uppmätta gasmängden korrigerades för temperatur, luftfuktighet och koldioxidmängd för att erhålla enheten nm^3 metan/kg VS. Koldioxidhalten mättes genom att lösa 5 ml biogas i 1M NaOH. Koldioxiden löses i vätskan medan övriga ämnen i biogasen kvarligg i gasform. Rötningen utfördes med två upprepningar per substrat för att öka säkerheten i mätningen. Dessutom rötades två upprepningar med endast ymp för att kunna räkna ut nettogasproduktionen från substraten. Resultaten redovisas som ackumulerad nettometangasproduktion per kg VS i bild 3 och 4, mätvärden från försöket redovisas i bilaga 1.

Övriga data för gödsel och avfall har erhållits från litteratur och från en växtnäringsbalans utförd av hushållningssällskapet (Hushållningssällskapet, 1999).

Dimensionering

Energibehov

Nuvarande energiförbrukning vid Plönninge är 4400 MWh värme/år för uppvärmning och tappvarmvatten och 1400 MWh el/år för belysning och motordrift (Landstinget Halland, 1998). Värmeenergiförbrukningen fördelar sig på flis, olja och el enligt följande:

- Skogsflis 2800 MWh/år
- Olja 1200 MWh/år
- El 400 MWh/år

Av värmeenergin åtgår 1300 MWh/år för uppvärmning av tappvarmvatten (Landstinget Halland, 1998).

Årstidsvariationerna i energiförbrukningen har följande ungefärliga fördelning (Landstinget Halland, 1998):

november-mars	400-600 MWh/mån
april, maj, september, oktober	200-400 MWh/mån
juni-augusti	100-200 MWh/mån

Med hjälp av formeln $P = W_{\text{års}} / Q_v * (T_e - T_u)$ har en egen beräkning över den månadsvisa energiförbrukningen utförts, där P = erforderlig effekt, $W_{\text{års}}$ = årsenergiförbrukningen, Q_v = antalet gradtimmar för Halmstad, T_e = inomhus-temperatur minus gratisvärme och T_u = utomhustemperatur, se bild 5.

Dimensionering av rötchammare och rötrestlager

Vid dimensionering av rötchammaren är det tre olika faktorer att ta hänsyn till och som styr storleken på anläggningen. Dessa är organisk belastning, uppehållstid och gasutbyte per m³ rötchammarevolym (Edström, pers. medd.).

Vid dimensionering av rötchammaren användes den organiska belastningen. Detta är den vanligaste metoden i Sverige, men användning av uppehållstiden är också en vanlig metod som bland annat används i boken "Biogaspraxis" (Schulz, 1996).

Komponenter

Informationen i detta kapitel är till största delen inhämtad från tysk litteratur, men även svensk och dansk litteratur har använts. Brev har skickats till 21 tyska företag som säljer biogasutrustning, sex av dessa har svarat och en av dessa har använts som referens i rapporten. Ett danskt företag är kontaktat angående flytande membranläggning. Svenska företag är kontaktade angående bl.a. gasbrännare och gödselpumpar.

Ekonomi

Annuitetsmetoden har använts vid ekonomisk beräkning beroende på alternativens olika livslängder (Lagerkvist, pers. medd.). Priser på material, arbete och planering kommer från tysk litteratur samt företagskontakter med tyska och svenska företag. Ett värmepris som ger lika stor intäkt som kostnader i kalkylen har framräknats och sedan jämförts med uppvärmning med eldningsolja. Med oljepriset som grund har ett elpris räknats ut för kraft-värmealternativet och sedan jämförts med rådande elpriser.

Priser på planering är tänkt att motsvara att flera anläggningar uppförs med liknande koncept och att initialkostnaden för tekniköverföring och undersökning av hur vi skall göra för att bygga efter det "tyska" konceptet inte belastar dessa anläggningar.

Känslighetsanalys

Två olika alternativ har simulerats för att se vilka effekter de får för det ekonomiska resultatet. I det ena alternativet undersöks vilket investeringsbidrag som behövs för att anläggningen skall kunna leverera energi till konkurrenskraftiga priser. I det andra alternativet undersöks vad konsekvensen blir om ett avfall med en specifik gasproduktion på 50 m³ metan per ton substrat rötas istället för hästgödsel och vilken effekt en eventuell behandlingsavgift har för det ekonomiska resultatet. Beräkningen är utförd med hjälp av problemlösaren i Excel.

Tillgänglig gödsel och avfall

På Plönninge finns nötflytgödsel och kletgödsel och urin från svin som utan stora problem kan rötas. Dessutom finns en liten mängd djupströgödsel från kött djur. Tillgängliga avfall är i första hand lantbruksavfall där det finns stora mängder svampkompost från en näraliggande champinjonodling, hästgödsel från skolans ridstall, kasserat ensilage, betblast från betodling och en mindre mängd kasserad potatis som kan vara aktuellt för rötning.

Nötflytgödsel

På Plönninge produceras ca 1650 ton nötflytgödsel per år med en ts-halt på 8 % (Hushållningssällskapet, 1999). Gödseln lagras nu i en 1200 m³ stor flytgödselbehållare i anslutning till kostallet. Det förväntade gasutbytet för nötflytgödseln är 24 300 m³ CH₄/år, se tabell 5 sid 25.

Gödsel från svin

Gödseln från svin hanteras som kletgödsel. Mängden är ca 350 ton/år och ts-halten är ca 16 % enligt egen mätning. Kletgödseln lagras på en 450 m² gödselplatta i anslutning till svinstallet. Urin, spol- och tvättvatten från stallarna och dränerat vatten från gödselplattan samlas upp i en ca 50 m³ stor pumpbrunn och pumpas vidare till en 1400 m³ flytgödselbehållare med täckning av lecakulor. Förväntat gasutbyte för kletgödsel och urin från svin är 14 700 m³ CH₄/år, se tabell 5 för ytterligare data.

Fastgödsel

Kött djuren på Plönninge producerar ca 32 ton fastgödsel per år och fåren producerar ca 4 ton årligen. Torrsubstanshalten är ca 30 % för fastgödsel enligt växt-näringsbalansen.

Svampkompost

Den totala mängden svampkompost som är tillgänglig för rötning är 1450 ton per år med nuvarande produktion (Svensson, pers medd.).

Dagens hantering av svampkomposten är att en bonde kommer och hämtar den när den är hygieniserad och utkörd från produktionsrummet. Bonden använder svampkomposten som jordförbättringsmedel på sina åkrar.

Den satsvisa utrötningen redovisas i bild 3. Endast en av de satsvisa utrötningarna användes då påsen för gasuppsamling inte var helt tät på den ena upprepningen. Gasutbytet blev 70 l CH₄/kg VS och totalt förväntat gasutbyte är 28 900 m³ CH₄/år.

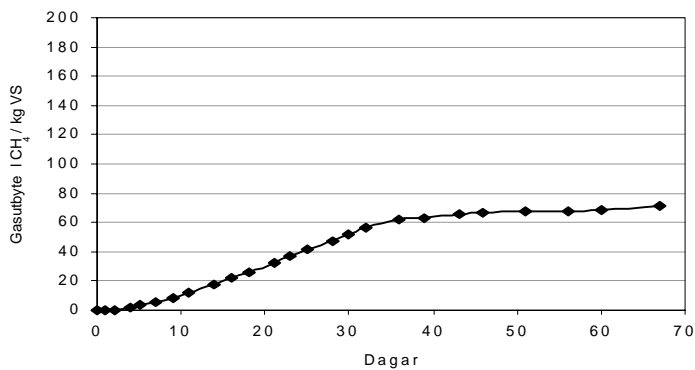


Bild 3. Satsvis utrötning av svampkompost.

Hästgödsel

Under terminen producerar hästarna ca 45 m³ gödsel per vecka med ett stort inslag av halmströ (Bågenholm, pers. medd.). Gödseln körs till Fammarps svampkompostanläggning utanför Halmstad där Plönninge betalar transporten och de är intresserade av billigare alternativ att bli av med gödseln.

Fullvuxna hästar producerar 8-10 ton träck och urin/år och häst, där urin står för ca 25 % av vikten (Jakobsson m.fl., 1995). Åtgången av halmströ är oftast mellan en tredjedel och upp till hälften av vikten träck och urin (Steineck, pers. medd.).

Gödselproduktionen antas vara 9 ton per år och häst där 5,6 ton hamnar i boxen och resten utomhus. Den totala mängden i boxen blir 315 ton där 15 ton antas avgå via avdunstning (Steineck, pers. medd.). Plönninge använder ca 170 ton halmströ per år till hästarna (Bågenholm, pers medd.).

Totalt hamnar 300 ton hästgödsel och 170 ton halmströ på gödselstacken, tillsammans 470 ton per år.

Den satsvisa utrötningen redovisas i bild 4. Gasutbytet blev 180 l CH₄/kg VS där variationen var 1 % mellan upprepningarna, se bilaga 1. Totalt förväntat gasutbyte är 21 300 m³ CH₄/år.

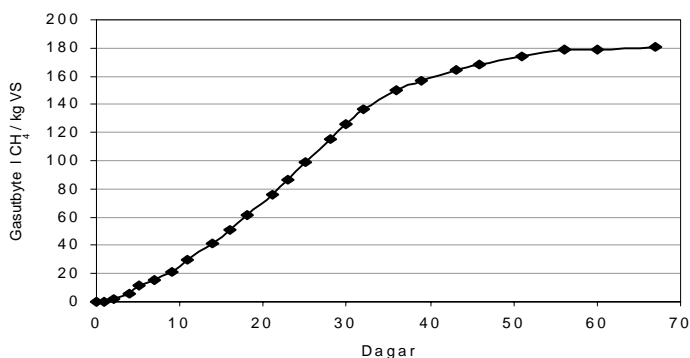


Bild 4. Satsvis utrotning av hästgödsel.

Ensilage

Plönninge kasserar en hel del ensilage som de i dagsläget kör till gödselstacken och blandar med gödseln. Hästarna utfodras med mycket rundbalsensilage. Hästarna och deras skötare är kräsna, vilket resulterade i att 75 rundbalar fick kasseras förra året (Bågenholm, pers. medd.). Året var dock extremt nederbördsrikt med dåligt ensilage som följd och en normal mängd antas vara ca 30 rundbalar per år (Bågenholm, pers. medd.).

Korna utfodras till största delen med ensilage från plansilo. Plansilon rymmer 600 ton och andelen kasserat ensilage antas vara ca 10 % (Bågenholm, pers. medd.). Under sommaren och hösten utfodras de även med rundbalsensilage där ca 10 rundbalar kasseras varje år.

Totalt kasserar Plönninge ca 25 ton rundbalsensilage och 60 ton ensilage från plansilo, tillsammans 85 ton, vilket förväntas ge 9 400 m³ CH₄/år.

Betblast

Plönninge odlar betor på 5 hektar varje år. Idag tillvaratas inte blasten utan sönderdelas i upptagaren och förs tillbaka på åkern. Vissa betupptagare har dock blastuppsamling och det finns möjlighet att hyra en sådan från maskinstation. Enligt databok för driftsplanering 1996 är normskörden för betor 45,3 ton per ha i Hallands län. Blasten väger 50-60 % av betskörden (Databok för driftsplanering, 1983). Produktionen av betblast antas vara 25 ton per ha och förlusterna vid uppsamling 25 %. Totalt finns 94 ton betblast tillgänglig för rötning som förväntas ge 4 200 m³ CH₄/år.

Potatis

På Plönninge odlas också potatis och efter skörd utsorteras årligen ca 10 ton på grund av mekaniska skador, skorv och röta (Bågenholm, pers. medd.). Potatisen används nu till viltutfodring, men det är även tänkbart att röta den eller använda som foder till skolans grisar. Det förväntade gasutbytet är 800 m³ CH₄/år.

Övrigt tänkbart avfall

Annat avfall som finns tillgängligt i närheten av Plönninge och kan tänkas vara ett bra substrat i en biogasanläggning är potatisskal från Skal-Man i Harplinge 2 km från Plönninge och mejeriavfall från osttillverkning vid Kvibille mejeri i Kvibille 10 km från Plönninge. Någon kontakt är dock inte tagen med dessa industrier.

Från skolans matbespisning produceras årligen 6-7 ton matavfall som också är tänkbart att röta, men detta måste eventuellt hygieniseras. Detta är relativt dyrt då ny utrustning i så fall måste införskaffas.

Mängder, ts, gasutbyten och växtnäringsinnehåll för gödsel och avfall är sammanställt i tabell 5.

Tabell 5. Data för gödsel och avfall.

Material	Mängd ^a ton/år	Ts %	Gasutbyte ^b m ³ CH ₄ /år	Växtnäring färsk gödsel	
				tot-N kg/år	amm-N kg/år
Gödsel					
Nötflytgödsel	1650	8 ^d	24300	6100 ^d	3700 ^d
Kletgödsel svin	350	16 ^c	14100	2600 ^d	1100 ^d
Urin Svin	800	0,7 ^c	600	2000 ^d	1800 ^d
Gödsel med mycket strå					
Fastgödsel Häst	470	30 ^c	21300 ^c	500 ^c	30 ^c
Djupströ nöt	33	30 ^d	2000	200 ^b	80 ^b
Djupströ får	4	30 ^d	200	50 ^d	20 ^d
Lantbruksavfall					
Ensilage	85	35 ^e	9400	900 ^b	90 ^b
Betblast	94	16 ^b	4200	300 ^b	?
Potatis	10	25 ^b	800	30 ^f	?
Övrigt					
Svampkompost	1450	50 ^c	28900 ^c	12200 ^c	400 ^c

Källor

a Plönninge naturbruksgymnasium.

b Från "kofermentation" av Biskupek B. och efter samråd med Mats Edström.

c Egna mätningar vid JTI.

d Växtnäringsbalans utförd av Hushållningssällskapet 1999.

e Jonsson, JTI, pers. medd.

f Livsmedelstabell. Statens livsmedelsverk, 1993.

g Biogas ur vallgrödor. Rapport 162. JTI, 1993.

Alternativ för använd rötråvara

Fyra olika alternativ för biogasanläggningen föreslås, se även bilaga 2.

1. Nötflytgödsel, kletgödsel och urin från svin, ensilage, betblast och potatis utgör rötsubstrat. Nöt- och svinggödsel utgör den största mängden och de kan rötas utan stora problem med sönderdelning. Ensilage, betblast och potatis är relativt energirika och finns i närheten av en eventuell anläggning. Total mängd rötråvara är 3000 ton/år med 8 % ts-halt.
2. Förutom substraten i alternativ 1 rötas även svampkompost från champinjonodlingen. Total mängd rötråvara är 9700 ton/år varav 5200 m³ spädvatten för att erhålla 10 % ts-halt.
3. Förutom substraten i alternativ 2 rötas hästgödsel och djupströgödsel från får och nöt. Total mängd rötråvara är 11200 ton/år varav 6200 m³ spädvatten för att erhålla 10 % ts-halt.
4. Förutom substraten i alternativ 1 rötas även hästgödsel. Total mängd rötråvara är 3800 ton/år varav 350 m³ spädvatten för att erhålla 10 % ts-halt.

Den satsvisa utrötningen visade att svampkompost ger ett mycket lågt gasutbyte, 70 l CH₄/kg VS och kräver dessutom mycket spädvatten för att kunna rötas. På grund av detta utreds endast alternativ 1 och 4 vidare.

Dimensionering

Målet för Plönningegymnasiet är att ersätta all olja och eventuellt även elen som används till uppvärmning (Landstinget Halland, 1998). Det medför att biogasanläggningen används för en basproduktion av värme och varmvatten till skolans byggnader. Om det blir ett överskott av biogas kan den användas för att i första hand tillgodose skolans interna behov av elström och i andra hand att sälja el ut på det allmänna nätet.

Energiförbrukning

Resultatet av beräknad månadsvis energiförbrukning redovisas i bild 5. Diagrammet stämmer väl överens med de månadsvisa värden som finns angivna i Landstinget Hallands ansökan (1998). Ur diagrammet kan utläsas att biogasanläggningen kan ge ca 100-150 MWh värmeenergi per månad utan stora problem. Det medför en energiproduktion på ca 1,5 GWh/år. Vid denna energiproduktion kommer dock biogas att ersätta skogsflis, och det kan vara bättre ur resurs- och kretsloppssynpunkt att investera i en kraftvärmeanläggning som ger ca 30 % elenergi och 55 % värmeenergi. Det innebär ca 450 MWh el och ca 830 MWh värme för en energiproduktion på 1,5 GWh/år.

Om anläggningen begränsas till en produktion på mindre än ca 1 GWh/år, kan all gas gå till uppvärmning och Plönninge slipper köpa in en dyr och servicekrävande kraftvärmeanläggning.

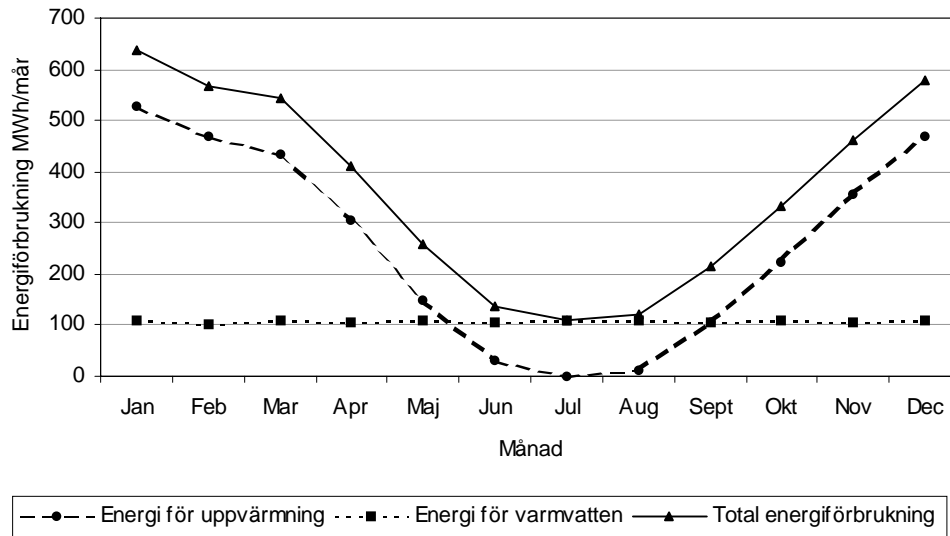


Bild 5. Beräknad månadsvis energiförbrukning för Plönningegymnasiet.

Biogasanläggningen

Biogasanläggningen antas arbeta i det mesofila temperaturområdet och den dimensionerande organiska belastningen är satt till 3 kg VS/m^3 , dygn (Edström, pers. medd.). Antalet driftsdygn sattes till 300 per år för att anläggningen skall klara av toppar i gödselproduktionen och kunna ta igen avbrott i rötningsprocessen. De översta 20 % av rötchkammaren används som gaslager och internt värmeenergiebehov antas vara 30 % av producerad energi på årsbasis (Edström, pers. medd.) och spädvattenbehov är beräknat utifrån en ingående ts-halt på 10 % i rötchkammaren, se bilaga 4 för beräkningar. Rötrestlagret skall klara att lagra 10 månaders produktion av rötrest i enlighet med reglerna för stallgödsel och grön mark (Jordbruksverket, 1996).

Flödesschema för alternativ 1 och 4 är redovisade i bild 6 och 7, ts-halt och växtnäringsinnehåll i tabell 6. Övriga resultat återfinns i bilaga 2, 3 och 4.

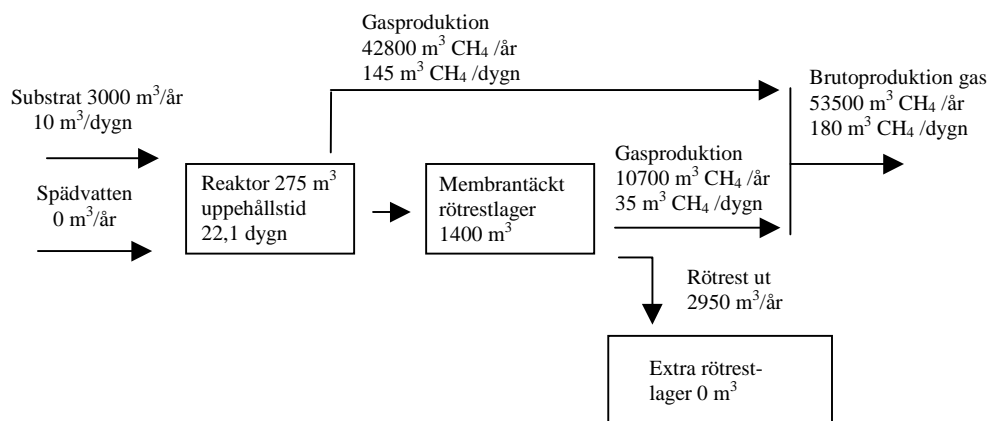


Bild 6. Flödesschema för alternativ 1. Av bruttoenergiproduktionen antas 30 % åtgå för intern uppvärmning av rötchkammaren och nettoproduktionen är 367 MWh/år.

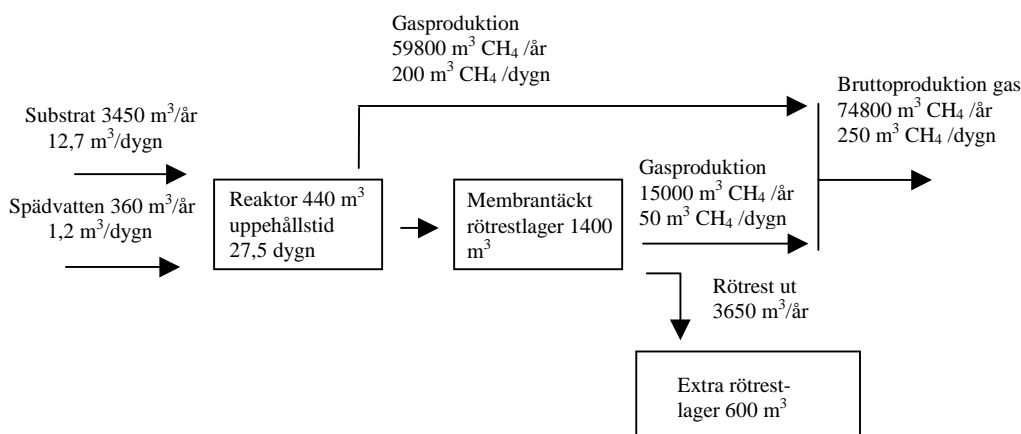


Bild 7. Flödesschema för alternativ 4. Av bruttoenergiproduktionen antas 30 % åtgå för intern uppvärmning av röt-kammaren och nettoproduktionen är 514 MWh/år.

Tabell 6. Torrsubstanshalt och växtnäringsinnehåll för alternativ 1 och 4.

Alternativ	Ts-halt in %	Växtnäring färsk gödsel			
		kg tot.N/år	kg amm.N/år	kg P/år	kg K/år
1	8,0	11900	6650	2700	8600
4	10,0	12400	6680	3300	10700

Komponenter i anläggningen

För Plönninges del utreds en anläggning med stående röt-kammare av betong och efterrötning under membrantäckning i den nuvarande urinbrunnen. Motivet till detta val är att anläggningstypen representerar den senaste tekniken i Tyskland. Röt-kammare av betong är helt dominerande i nybyggnationer, där liggande behållare av stål mestadels används för mer problemfyllda substrat. Liggande behållare blir i regel dyrare per m³ röt-kammare och deras volym blir begränsad på grund av problem vid transport (Wikberg & Edström, 1998). Att använda flexibel membrantäckning för rötrestlagret är ett sätt att tillgodogöra sig värmen i rötresten och bidrar då till högre gasproduktion i lagringsbehållaren.

Röt-kammare av betong

Fördelar med att använda betong är att det är relativt billigt och ett vanligt konstruktionsmaterial där mycket av byggnadsarbetet kan utföras av lantbrukaren. Nackdelar är att det finns risk att behållaren vid byggnation eller med tiden blir otät (Schulz, 1996).

Betongen blandas antingen på plats eller på betongstation och körs med lastbil till byggplatsen om röt-kammaren är stor.

Viktiga grundregler för att få behållaren gastät är (Schulz, 1996):

- Ett lågt vattencementtal (vct). I Sverige skall vattentät betong ha vct under 0,60 (Andersson, 1990).
- Bra ballast i betongen med rätt storleksfördelning.
- Noggrann tätning av skarvar i röt-kammaren.
- Undvikande av arbetsfogar och krympsprickor.

I Tyskland gjuter vissa företag gödsellager i betong med hjälp av stålformar. Dessa är bra att använda vid uppförandet av en betongrötkammare (Schulz, 1996).

Ett annat alternativ för betongrötkammare är att använda betongelement till väggar och tak som sedan övertäcks med ett tunnare lager betong blandad på plats för att få rötkammaren gastät (Schulz, 1996). Detta kan vara aktuellt i Sverige där gödsel-lager i allmänhet är elementbyggda.

Små ojämnheter i betongen i väggar, bottenplatta och vid röranslutningar under vattenytan påverkar inte behållarens täthet. De kommer med tiden att sättas igen och tätas av gödseln/rötsubstratet (Schulz, 1996). Ojämnheter i rötkammarens övre delar ovanför vätskeytan är dock mycket kritiska. Speciellt kritisk är taket och övergången mellan vägg och tak (Schulz, 1996).

Vid gjutning av taket är det viktigt att betongen vibreras omsorgsfullt och att den är täckt och fuktig ända tills fullständig härdning uppnåts. Det vanligaste felet vid gjutning av betongtak är att vatteninnehållet är för högt. Mycket vatten i betongen gör att den blir mer lättflytande och underlättar därmed bearbetningen, men krymp-sprickor och mikroporer uppkommer då betongen härdar och vatten avdunstar. Dessa leder senare till höga och svårkontrollerbara gasförluster (Schulz, 1996).

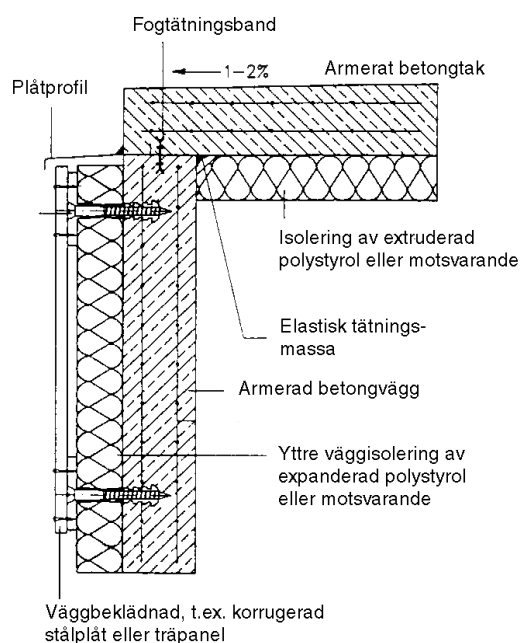


Bild 8. Anslutning mellan tak och vägg i betongrötkammare.

Vid tätning av fogen mellan tak och vägg skall elastisk tätningsmassa användas, se bild 8. Den kan bestå av silikongummi, polyuretan eller bitumengummi (Schulz, 1996). Betongen måste dock vara helt genomhärdad och en passande grundfärg vara påstruken för att tätningsmassan skall fungera tillfredsställande (Schulz, 1996).

För att transportera bort sedimenterat material skall ett sandfång anläggas i röt-kammaren. En fördjupning byggs på det lägsta stället och därifrån går ett rör med stor diameter (20-25 cm) kortast möjliga väg ut till blandningsbehållaren eller en speciell pumpgrop (Schulz, 1996). Materialet förs ut från röt-kammaren med hjälp av vätsketrycket i röt-kammaren och skall inte föras tillbaka till röt-kammaren då det åter kommer att sedimentera (Schulz, 1996).

Isolering

Isolering av röt-kammaren är nödvändig för att erhålla jämn temperatur och låg processenergiförbrukning. Tre olika typer av isoleringsmaterial är vanliga för röt-kammare.

Mineralull är det vanligaste materialet vid isolering av hus i Sverige. Mineralull är billigt, har en mycket bra isolerande förmåga, är beständigt mot värme och mikrobiell nedbrytning. Det är behandlat med vattenavvisande substanser och suger inte upp vatten kapillärt (Andersson, 1990). Nackdelar med mineralull är att det endast tål låga tryck och är diffusionsöppet, vilket innebär att vattenånga fritt kan vandra genom isoleringen (Gullfiber, 1996). Mineralullsskivor används ovan jord vid konstruktioner utan tryck, men måste skyddas mot fukt.

Cellplastskivor av expanderad polystyrol (EPS) är lätta och dammar inte när de skärs till. De klarar dock inte en ständigt fuktig miljö då de långsamt suger upp vatten och även torkar upp mycket långsamt (Schulz, 1996). Materialet används till isolering av ovanjordiska röt-kammarväggar och skall täckas med ett skyddande skikt av t.ex. korrugerad stålplåt (Schulz, 1996).

Skivor av extruderad polystyrol (XPS) har en hög tryckhållfasthet, är beständiga mot gödsel, är tillverkade med slutna porer och klarar i och med detta en ständigt fuktig miljö utan att ta upp något vatten (Gullfiber, 1996). Materialet är lämpligt för isolering av röt-kammarens delar som ligger under markytan (Schulz, 1996).

Om röt-kammaren förses med en membrantäckning kommer det att uppstå stora värmeförluster genom "taket". För att minska värmeförlusterna kan isolering ske genom flytande isolering i röt-kammaren med t.ex. chips av styropor, vilka används som skydd av ömtåligt gods. Detta har använts med viss framgång i Tyskland, men fungerar inte tillfredsställande om svämtäcke uppstår (Schulz, 1996). Ett annat alternativ är att bygga ett isolerat undertak under membranet (Köberle, 1997).

Lämplig isoleringstjocklek

Den optimala isoleringstjockleken beror på en mängd faktorer, bland annat behållarens storlek och form, temperaturdifferensen mellan rötsubstrat och omgivningen samt värdet av inbesparad värmeenergi (Schulz, 1996). I Tyskland skall U-värdet

(värmegenomgångskoefficienten) vara $0,3 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$ eller lägre för en biogas-anläggning som drivs mesofilt (Schulz, 1996), se tabell 7. För en rötchammare med 20 cm betongvägg medför det en isoleringstjocklek på ca 10 cm när extruderad polystyrol används.

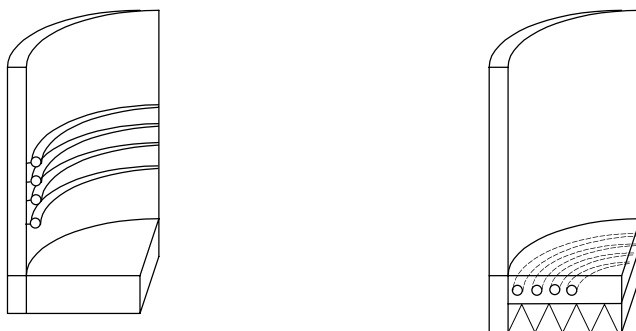
Tabell 7. Rekommenderade högsta U-värden för rötchammare i Tyskland (Schulz, 1996).

Temperaturområde	Rek. högsta U-värde
Psykrofil (15–20°C)	0,6 W/m ² , °C
Mesofil (≈ 35°C)	0,3 W/m ² , °C
Termofil (≈ 55°C)	0,2 W/m ² , °C

Uppvärmning av substrat i rötchammaren

Användning av plaströr som sitter innanför väggarna är den vanligaste metoden för uppvärmning av rötchammaren och har också fungerat problemfritt (Schulz, 1996). En annan vanlig metod är att lägga ledningarna för uppvärmning i bottenplattan. Fördelen med detta är att ledningarna ligger skyddat, nackdelen är att när material sedimenterar ned på botten kommer värmeledningsförmågan att försämrans. Detta skall man ta hänsyn till vid dimensionering av ledningarna. För Plönninges del rekommenderas uppvärmning längs insidan av rötchammarväggen.

Vid uppvärmning i bottenplattan gjuts ett golv av betong ovanför isoleringen, se bild 9. Betongskiktet skall vara minst halva isoleringstjockleken för att hålla isoleringen på plats (Schulz, 1996). Slingor av plast med $\varnothing 12\text{-}25 \text{ mm}$ gjuts in i betongen och läggs på liknande sätt som golvvärme i ett bostadshus (Schulz, 1996).



Slingor på insidan av rötchammarväggen. Slingor i rötchammarens bottenplatta.

Bild 9. Uppvärmning av substrat i rötchammaren.

När uppvärmningen sker på insidan av väggarna kan rör av plastmaterial användas som fästs på insidan av rötchammarväggen, se bild 9. För att få en så stor värmande yta som möjligt används $\varnothing 25$ eller $\varnothing 50 \text{ mm}$ rör. Rören läggs spiralformigt och för att underlätta luftning av rören skall vattnet strömma underifrån och uppåt (Schulz, 1996). Med tanke på risken för ett sedimentationsskikt på botten av rötchammaren skall rören inte fästas lägre än 20-50 cm över botten (Schulz, 1996).

Enligt Wahlter (1985), kommer värmeövergångstalet mellan det heta vattnet och rötsubstratet att sjunka med tiden beroende på avlagringar på rören, och man skall inte räkna med högre värmeövergångstal än $50 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$. En utökning av den värmande ytan är svår att utföra i efterhand och därför bör uppvärmningsutrustningen dimensioneras för temperaturer upp till 40°C om man senare vill öka belastningen (Schulz, 1996).

Gasbehandling

Biogas som kommer direkt från röt-kammaren är nästan helt vattenmättad och har oftast en så hög svavelvätehalt att den är korrosiv (Schulz, 1996). En stor del av vattnet kondenseras i ledningar och gaslager där temperaturen är lägre än i röt-kammaren. Rören skall därför ligga frostfritt och luta så att kondensvattnet kan rinna till röt-kammaren, gaslager eller rötrestlager (Schulz, 1996). Vid eventuella lågpunkter skall det finnas möjlighet att tömma ut kondensvatten. Rör av plast används utomhus för att undvika korrosion och inomhus används rör av metall på grund av brandrisken (Schulz, 1996).

En kondensvattenavskiljare anläggs i ett frostfritt utrymme i början av gasledningen som kan bestå av ett plexiglasrör ur vilket vatten kan rinna via ett vattenlås utan att gasen strömmar ut, se bild 10. Kondensvattenavskiljare kan också användas för övertryckssäkring genom inställning av vattenlåsets höjd i förhållande till kondensvattenledningen (Schulz, 1996). Normal höjd är 5-10 mm om membran av PE/EVA används.

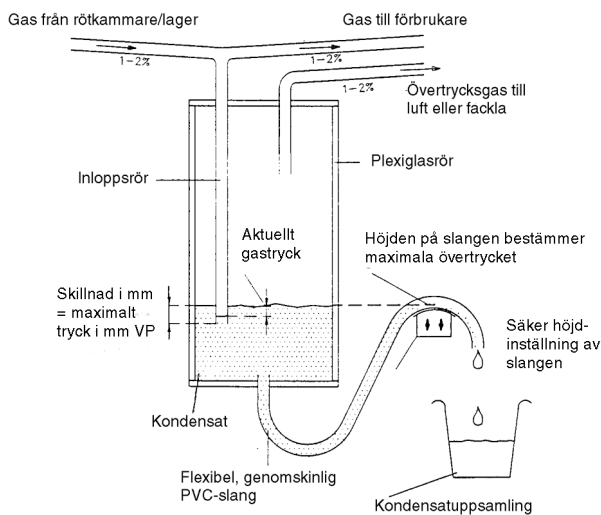


Bild 10. Kondensvattenavskiljare och övertryckssäkring för biogas (Schulz, 1996).

Avsvavling är jämte avfuktning den viktigaste faktorn för att undvika korrosion i systemet (Schulz, 1996). Den vanligaste metoden för avsvavling i nyare tyska gårdsanläggningar är att blåsa in luft direkt i röt-kammaren med hjälp av en eller flera akvariepumpar. Med hjälp av aeroba bakterier reduceras svavelvätet, H_2S , till elementärt svavel, S (Wikberg & Edström, 1998). Svavlet faller ned i rötresten och kan på så sätt tillgodogöras som gödselmedel. Avsvavling med hjälp av luft

upptäcktes 1982 av Reinhard Henning i ett otätt kombinerat rötrest- och gaslager i Tyskland (Schulz, 1996). Vid optimal dosering av luft (3-5 % av biogasproduktionen) kommer upp till 95 % av svavelvätet att övergå till svavel (Schulz, 1996).

Membrantäckning

Membran fast inspänt ovan vätskeytan

Membranet som samlar upp och lagrar gasen sätts fast längs rötkammarens insida. Som innerfolie för gasuppsamling används oftast svart folie av PE/EVA (polyetylen/etylenvinylacetat) som är elastiskt, inte mjukas upp med tiden och är okänsligt för UV-ljus. Nackdelar är att materialet endast klarar ett övertryck av 5-10 mm VP och inte kan limmas utan måste sammanfogas med tejp (Schulz, 1996).

I övergången mellan rötkammare och innerfolie används ofta den så kallade "Seeger"-förslutningen som också används till ensilagesilos i Tyskland (Schulz, 1996), se bild 11. Folien sticks in i en konisk profil av PVC i väggen och försluts med en gummislang som pumpas upp och låser folien. Detta fungerar bra vid ett övertryck upp till 5-10 mm VP, sedan finns risk att folie och slang släpper från profilen. Profilen installeras lättast och bäst samtidigt som rötkammaren byggs då den kan gjutas in i väggen. Om profilen installeras i efterhand skall tätningsmassa läggas bakom profilen och sedan skall sidorna täckas med cementputs (Schulz, 1996), se bild 11.

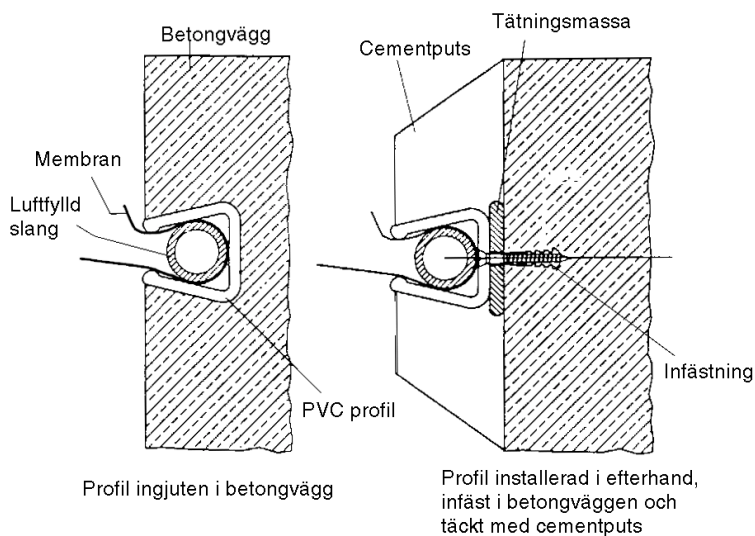


Bild 11. Infästning av membran ovan vätskeytan (Schulz, 1996).

Om ett täckande tak behövs som skydd mot väder och vind består det ofta av en formsvetsad PVC-folie som vilar på en undertakskonstruktion av trä (Schulz, 1996). En annan typ av membrantäckning är utvecklad av Edvin Köberle där undertaket av trä inte behövs, istället blåses luft in mellan två membran med hjälp av en liten kompressor. Membranen fästs mot ett elastiskt material på rökammarens utsida med hjälp av ett spännband (Schulz, 1996).

Flytande membran

Ett annat sätt att samla upp gas från röt-kammaren är att ha flytande membran-täckning som säljs av t.ex. soft-topgruppen i Danmark. Denna består av en gastät duk fäst på en ram som flyter på vätskan i flytgödselbehållaren (Elmose, 1997). På Önnestads naturbruksgymnasium utanför Kristianstad finns två membrantäckta flytgödselbehållare för uppsamling av biogas (Hansson, pers. medd.). Membranen har byggts på skolan där den ena är av flytande typ och den andra fast inspänd under vätskeytan.

För Plönninges del rekommenderas antingen membran fast inspänd ovan vätskeytan då material och kunnande kan levereras från Tyskland, eller flytande membran från exempelvis soft-top gruppen i Danmark. Ett annat alternativ är att bygga ett eget membrangaslager som på Önnestads naturbruksgymnasium, men i så fall krävs ett stort engagemang och kunnande på Plönninge.

Propelleromrörare i stående röt-kammare

Snabbroterande propelleromrörare med dränkbar motor har kommit starkt på senare år i Tyskland (Schulz, 1996). De levereras färdiga i en enhet direkt från fabrik. Motorn är vattentät kapslad och levereras i storlekar mellan 2,5 och 25 kW. Den driver en två- eller trebladig propeller som sätter vätskan i stark strömning (Schulz, 1996), se bild 12.

En höjdställning och eventuellt inställning i sidled av propellern är bra för att kunna bryta svämtäcken och sedimentation av material. Inställningen ordnas med en eller flera vinscher ovanför röt-kammartaket (Schulz, 1996).

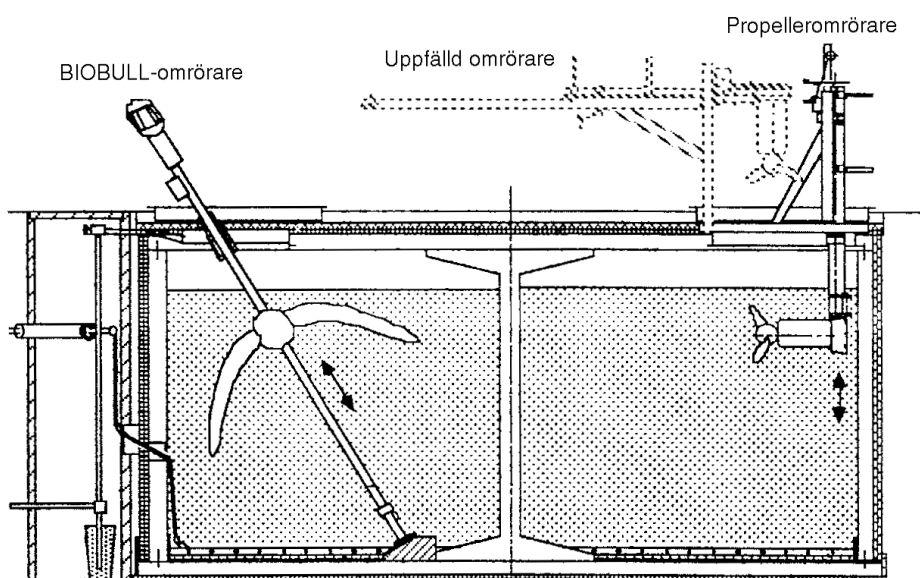


Bild 12. Propelleromrörare i betongröt-kammare (Köberle, 1997).

Dränkta propelleromrörare klarar endast temperaturer upp till ca 40°C på grund av de annars inte får tillräcklig kylning (Schulz, 1996).

En liknande funktion som propelleromrörare har svängbara ”stavmixers” (Schulz, 1996). Motorn sitter utanför röttkammaren och ansluts genom tak eller röttkammarevägg. Ned i röttkammaren går en ”stav” med en eller flera propellrar i änden. Stavmixers kan i motsats till dränkta propelleromrörare även användas vid temperaturer över 40°C och i röttkammare med membrantäckning. Stavmixers kan förses med skärande utrustning liknande knivar och användas för att sönderdela strå- och fiberhaltiga material (Schulz, 1996).

Andra typer av omrörare är t.ex. Biobull- och snabbroterande omrörare med toppmonterad motor, se bild 12. Biobull är en långsamroterande propelleromrörare där propellern är större och går längre tider än dränkta propelleromrörare. Fördelar med denna typ är att en liten motor kan användas och att effektbehovet blir lågt (Köberle, 1997).

För Plönninge rekommenderas i första hand en snabbroterande omrörare då flera gödselpumpstillverkare saluför sådana inkl. ställning, t.ex. Flygt och Eisele, och även är villiga att leverera till Sverige. En så kallad biobull-omrörare kan också vara ett bra alternativ, men är relativt oprövad och de har inte heller svarat på det utskickade brevet.

Gaspanna

En gaspanna ser ut och fungerar precis som en panna för andra fasta eller flytande bränslen. Skillnaden ligger i att brännaren är specialanpassad för gas.

Det finns tre olika typer av brännare och de arbetar alla med ett luftöverskott vid förbränningen för att undvika ofullständig förbränning (Statens energiverk, 1989). Dessa är:

- Atmosfäriska brännare
- Fläktbrännare
- Kombinationsbrännare för gas och olja

Atmosfäriska brännare är relativt billiga och driftsäkra och används till små pannor av villastorlek (Statens energiverk, 1989). Brännaren byggs upp av en eller flera parallella ramper som är uppbyggda av gasdys, blandningssträcka och brännarhuvud. Gasen strömmar ut genom gasdysen, drar med sig primärluft in i brännarhuvudet och strömmar ut genom brännarportarna där flammorna bildas, se bild 13. Brännare och panna utgör en funktionell enhet och marknadsförs inte var för sig (Statens energiverk, 1989).

I en **fläktbrännare** tillförs förbränningsluften med hjälp av en fläkt. Luften ges med hjälp av skenor i brännarhuvudet eller liknande en roterande rörelse och blandas med gasen. Gas tillförs via en centrumdys eller gasring i brännarroret. Flamman stabiliseras med hjälp av flambägare och flamhållare i brännarnosen. Fläktbrännare utgör en separat enhet och kan monteras i olika typer av pannor där storlekar finns från 10 kW och uppåt (Statens energiverk, 1989).

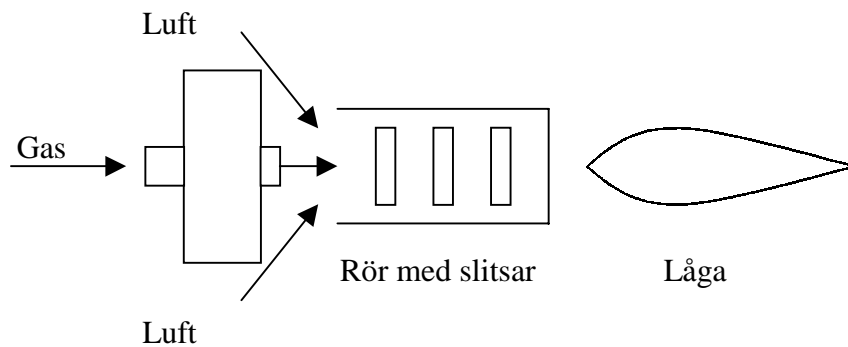


Bild 13. Atmosfärisk brännare efter Statens energiverk, 1989.

Kombinationsbrännare för gas och olja förekommer i storlekar från 30 kW och uppåt (Statens energiverk, 1989). De mindre typerna är kompaktbrännare med samma uppbyggnad som fläktbrännare och tillsats för oljeeldning. Andra typer är pressluftsbrännare och rotationsbrännare (Statens energiverk, 1989).

Generellt sett är verkningsgraden för gaseldade pannor högre än för oljeeldade på grund av att sotbildningen är mindre och rökgastemperaturen kan hållas lägre (Almkvist & Nilsson, 1992), samt att oljan behöver förångas innan förbränning (Edström, pers. medd.)

Vid kontakt med svenska leverantörer av gasbrännare har fläktbrännare föreslagits för Plönninges biogasanläggning, delvis på grund av att de är helt dominerande på marknaden för storleken 50-200 kW.

Gasmotorer

I Tyskland är elgenerering med gasmotor helt dominerande på gårdsnivå. Det beror till stor del på det högre elpriset då ersättningen är ca 70 öre/kWh för försold ström.

Bensinmotorer

Tidigare användes ofta modifierade Fiatmotorer, så kallade Totem-aggregat. De är ovanliga idag beroende på att de gick på höga varvtal kring 3000 varv/min och därmed slets snabbt (Schulz, 1996).

Bensinmotorer ger ca 10-15 % lägre effekt när man kör på biogas jämfört med bensin (Schulz, 1996). Detta kan kompenseras genom att höja kompressionen genom att t.ex. slipa cylindertoppen för att minska förbränningsrummet, men detta utförs ej i praktiken. Den viktigaste anpassningen av motorn är att en gasluftblandare behöver installeras vid motorns insug (Schulz, 1996). Eftersom biogasen till skillnad från bensin inte har någon kylande eller smörjande effekt skall motorn om möjligt ha förstärkta ventiltästen. Detta är brukligt för nya motorer som använder blyfri bensin (Schulz, 1996). Många lantbrukare har med framgång själva konverterat bensinmotorer till biogasdrift (Schulz, 1996). Det är dock vanligast att köpa ett färdigt aggregat där t.ex. maskingarantier ingår. Exempel

på leverantörer är Hochreiter och EnergieWerkstatt som båda säljer Fordmotorer (Schulz, 1996).

Elverkningsgraden för bensinmotorer ligger i allmänhet på 22-25 % och värmeverkningsgraden kring 50 % om avgaserna kyls (Schulz, 1996). Totalt ger det en verkningsgrad kring 70-75 %.

Ombyggda dieselmotorer

Även dieselmotorer som modifieras för biogasdrift används för elgenerering. Tändstift monteras på cylindrarna och en gasblandare byggs på motorns insugningsdel (Schulz, 1996). Kända märken är t.ex. Henkelhausen, Jenbacher och Caterpillar. De har en elverkningsgrad kring 35 % och används ofta på deponigas-anläggningar och svenska reningsverk, men har i allmänhet för stor effekt och är för dyra för gårdsbaserade anläggningar.

Dual-fuelmotorer

En så kallad dual-fuelmotor är en konventionell dieselmotor som körs med biogas och ca 10 % av energin från diesel som tändbränsle (Schulz, 1996). Motorn måste startas på enbart diesel, sedan kan den gå på 90-95 % biogas. Denna motortyp användes först med framgång i utvecklingsländerna, men är nu också den vanligaste motortypen i tyska gårdsanläggningar (Schulz, 1996). På grund av deras långa livslängd används stationära industri-, lastbils- och traktormotorer (Schulz, 1996). De har en hög mekanisk verkningsgrad på grund av deras höga kompression. Den enda modifieringen av motorn som behövs är montering av en gas-luftblandare. Elverkningsgraden ligger på 30-35 %

Problem med dual-fuelmotorer är dieselförbrukningen som kostar pengar och släpper ut skadliga avgaser samt att avgaskylaren lätt sotar igen och att insprutningsmunstyckena koksar igen (Schulz, 1996). Många lantbrukare klagar på förkoksning och de måste på grund av detta rengöra eller byta munstycken varje månad. En lösning är att öka dieseldosen 1-2 gånger per dag så att koksen släpper. Förkoksning beror på att biogas kyler sämre än diesel (Schulz, 1996).

Motorerna kan köpas från ett flertal firmor, t.ex. (Schulz, 1996):

Hochreiter	John Deere motorer
Sauter	Iveco & Fiat traktormotor
Schnell	Perkins industrimotor

För Plönninges del rekommenderas antingen en dual-fuelmotor på grund av sin relativt långa livslängd och höga elverkningsgrad eller en ombyggd bensinmotor om dieseln till dual-fuelmotorn är dyr och skolan värderar producerad värme lika högt som producerad el.

Förbehandling av avfallssubstraten

Sönderdelning av material kan behövas för att göra materialet pumpbart och homogent så att stopp i ledningar och pumpar undviks samt för att påskynda nedbrytningsprocessen. Det gäller speciellt material med hög ts-halt eller stort strå- och fiberinslag, t.ex. djupströ- och hästgödsel. Enligt Claus (Claus, 1987 enligt Karlsson & Svensson, 1993) kan organiskt material sönderdelas genom att hackas, skäras, rivas, krossas eller malas. Detta kan åstadkommas med många olika typer av maskiner.

I blandningsbehållaren kan viss sönderdelning ske om cirkulationspump eller mixer med skärande bearbetning används. Strå- och fiberandelen får dock inte vara för hög då pumpen kan sätta igen och materialet sno sig runt axeln på mixern (Schulz, 1996).

Hästgödsel

Hästgödsel består till stor del av långsträig halm. Detta är svårt att sönderdela i blandningsbehållaren och tar lång tid att bryta ned i röttningsprocessen.

Praktiska försök för att konvertera fastgödsel till flytgödsel utfördes 1991 av JTI. Där användes en snabbroterande knivtrumma för att sönderdela gödseln innan den späddes med vatten av en centrifugalgödselpump av märket Alfa Laval. Detta fungerade bra för kletgödsel, men torr och halmrik fastgödsel packade sig och fastnade i sönderdelaren (Karlsson & Svensson, 1993). En tänkbar lösning för att minska problemen är att minska inmatningen av material och förse den med ett inmatningsverk (Karlsson & Svensson, 1993).

I ett annat försök vid JTI 1998 användes en kompostvärdare av märket Sandberger ST 300 för att kompostera hästgödsel. Det fungerade bra och halmen sönderdelades märkbart efter att gödseln vänts tre till fyra gånger (Karlsson, pers. medd.).

Ytterligare ett tänkbart alternativ för att sönderdela hästgödseln är att använda en skärande blandarvagn för foder eller kompost av märket Seko eller motsvarande. Dessa har använts med gott resultat för hästgödsel på Flyinge stuteri (Eriksson pers. medd.).

Två alternativa lösningar föreslås:

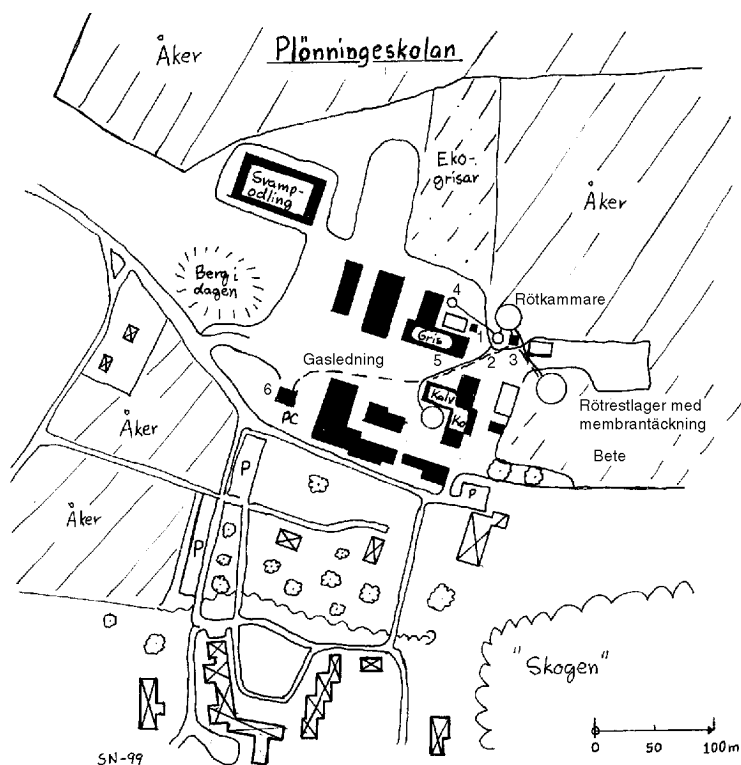
1. En större maskin köps in för sönderdelning av material. Den används i anslutning till biogasanläggningen och ger då möjlighet att även sönderdela övrigt stråhaltigt material som ensilage och betblast.
2. En mindre maskin köps in och används i anslutning till häststallets gödselplatta. Hästgödseln sönderdelas dagligen vid utgödsling, vilket utförs av elever och/eller anställd personal. Fördelen med detta är att investeringsbehovet blir betydligt lägre.

I den ekonomiska beräkningen används alternativ 1 på grund av att det är enklast att ta reda på relevanta kostnader för detta alternativ.

Förslag på utformning av biogasanläggning på Plönninge

Placering

Biogasanläggningen föreslås placeras nordost om nuvarande gris- och kostall, se bild 14.



1. Maskin för sönderdelning.
2. Blandningsbehållare.
3. Teknikhus.
4. Befintlig brunn för svinurin.
5. Ledning för gas och nötflytgödsel.
6. Befintlig panncentral.

Bild 14. Tänkt placering av biogasanläggning på Plönninge.

Fördelarna med denna placering är att anläggningen ligger nära flyt- och kletgödsellager. Därmed undviks onödig ledningsdragning och transport av gödsel och den nuvarande urinbrunnen på 1400 m³ kan användas som rötstlager och efterrötningsreaktor om den förses med membrantäckning. Anläggningen ligger inte heller i vägen för trafik på gårdsplanen.

En annat förslag är inne på gårdsplanen för att minska avståndet till flytgödselbehållare och panncentral. Nackdelen med denna placering är att anläggningen stjälar plats från gårdsplanen, kletgödseln måste transporteras längre och avståndet till rötstlagret ökar.

Ett tredje förslag är sydöst om kostallet för att erhålla litet avstånd till urinbrunnen och eventuellt koppla in värmeanläggningen till fjärrvärmenätet söder om den lilla parkeringen. Här är den stora nackdelen att kletgödseln måste transporteras långt och att marken i dagsläget är kohage utan hårdgjord yta i närheten.

Komponenter

Förslag på ingående komponenter beskrivs i bild 15.

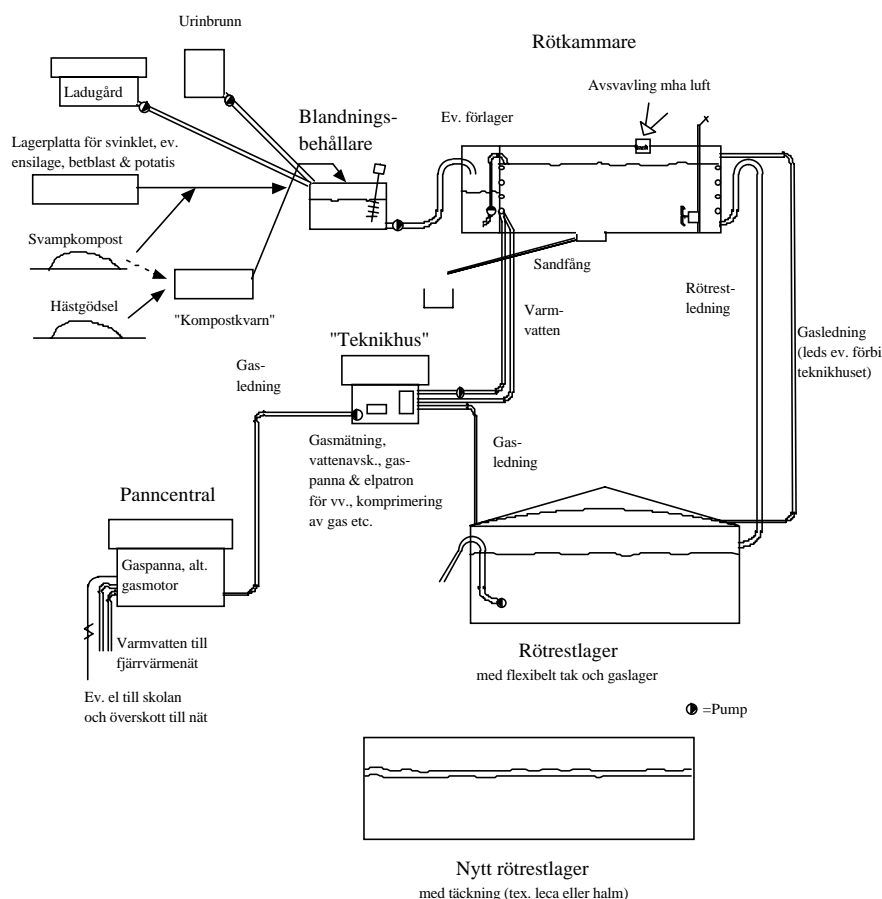


Bild 15. Komponenter i föreslagen biogasanläggning på Plönninge.

Flytgödsel och urin från svin pumpas via rör till blandningsbehållaren. Svinkletgödsel, ensilage och betblast tippas i blandningsbehållaren med hjälp av traktor och skopa. Om hästgödsel skall rötas mals den först ned i en foderblandarvagn eller motsvarande innan den tippas i blandningsbehållaren.

I blandningsbehållaren blandas materialet med hjälp av en stavmixer eller skärande gödselpump för att erhålla ett homogent substrat. Vid rötning av hästgödsel tillsätts en mindre mängd spädvatten. Från blandningsbehållaren pumpas substratet direkt till rötkammaren en eller två gånger per dygn.

Rötkammaren gjuts av betong på plats eller byggs av betongelement som sedan görs gastät med t.ex. invändig putsning. Uppvärmningen föreslås ske med slangar för golvvärme på insidan av rötkammarens väggar. Vid den lägsta punkten anläggs

ett sandfång med ett grovt rör som mynnar ut från rötammaren. Omblandningen i rötammaren sker med hjälp av en propelleromrörare och avsvavling av biogas sker med hjälp av lufttillsats av en liten pump i rötammaren.

Rötresten leds ut ur rötammaren i en PVC-ledning med stor diameter genom självfall då nytt material pumpas in och sedan vidare till den nuvarande flytgödselbehållaren för svinurin som ligger lägre än den tänkta rötammaren. Nivån hålls konstant genom ett ”vattenlås” på utloppet för rötrest, där den övre kröken på röret avgör nivån i rötammaren.

Biogas från rötammaren leds vidare till ett membrangaslager på den nuvarande urinbrunnen. Membranet på urinbrunnen samlar även upp gas från rötresten förutom att fungera som gaslager. Gasledningen grävs ned tillsammans med rötrestledningen för att minimera grävbehovet.

Vid rötammaren byggs ett mindre hus rymmande uppvärmningsutrustning för rötammaren, mätnings- och reningsutrustning för biogasen. Som backup till gaspannan installeras en elpatron dimensionerad för att klara att hålla temperaturen i rötammaren utan tillförsel av nytt substrat. I panncentralen installeras antingen en gaspanna eller en gasmotor för att förbränna gasen och producera värme alternativt el och värme.

I alternativ 4 behöver ett nytt flytgödsellager byggas för att klara kravet om 10 månaders lagringskapacitet för gödseln.

Ekonomi

Förutsättningar

- All producerad värme antas kunna tillgodogöras på Plönninge. Det beror på att värmekonsumtionen är stor på skolan, även under sommartid (Landstinget Halland, 1998).
- Förbrukningen av diesel vid malning av hästgödsel, uppsamling och transport av ensilage och betblast är inte medtaget på grund av att mängderna är små och svåra att uppskatta. Arbets- och maskinkostnaden för uppsamling av betblast är inte heller medtagen då den är svår att uppskatta, men utgör förmodligen en större kostnad än dieselförbrukningen.
- Alla priser är angivna exklusive moms om inte annat anges.

Investeringskostnader

I beräkningen ingår material och uppskattade arbetskostnader för att uppföra rötammare med kringutrustning såsom blandningsbehållare och uppvärmning etc., gaslager, energiproduktionsdel, gas- och rötrestledningar, eventuellt extra rötrestlager och förbehandling av hästgödsel, se bilaga 6.

Material

Rötammare av betong inkl. isolering är prissatt till 118 000 kr för alternativ 1 (275 m³) och 185 000 kr för alternativ 4 (440 m³). Tyska schablonkostnader

(kr/m³ rötchammare) har använts (Schulz, 1996) då tekniken med rötchammare av betong är oprövd i Sverige. Här är gjutna flytgödselbehållare ovanliga, istället används betongelement som sammanfogas på plats. Som jämförelse kostar en 410 m³ flytgödselbehållare med betonglock ungefär 200 000 kr exkl. moms inkl. montering (Wahlström, pers. medd.). Om den skall användas som rötchammare tillkommer isolering, schaktarbeten och arbete för att göra behållaren gastät.

Pris på omrörare till rötchammaren har inhämtats via en tysk företagskontakt och ligger på ca 65 000 kr (Köberle, pers. medd.). Omblandnings- och sönderdelningsutrustning i blandningsbehållaren är prissatt till 50 000 kr enligt schablon i ”biogaspraxis” (Schulz, 1996), se bilaga 6.

Flytgödselbehållaren för svinurin antas användas som rötrestlager. Lagret täcks med ett gummimembran för att fungera som gaslager. Kostnaden är skattad till 80 000 kr enligt schablon i ”biogaspraxis”. Oförutsedda kostnader antas till 100 000 kr. Här kan t.ex. dragning av elkabel för elinstallationer och ett fördyrat byggnads sätt för rötchammaren ingå.

Arbete

Kostnaderna bygger till stor del på egen uppskattning då det varit svårt att få fram relevanta data och timkostnaden varierar beroende på om man gör arbete i egen regi eller lejer för arbetet. Kostnaderna är lågt skattade och förutsätter mycket eget arbete och att inga problem uppstår under byggnationen.

Installationer och byggnadsarbete antas ligga i storleksordningen 100 000 kr. Detta inkluderar hyra av maskiner och ca 500 timmar eget arbete till en timkostnad av 135 kr/tim.

Ledningsdragning och grävning mellan de olika delarna uppskattas till ca 50 000 kr där en stor del, 35 000-40 000 kr, är specifikt för Plönninge på grund av att de vill förbränna gasen i den befintliga panncentralen och att flytgödselbehållaren ligger långt från rötchammaren.

Kostnaden för projektering och tillståndsansökningar ligger i Tyskland kring 100 000 kr (Edström, pers medd.). I Sverige antas kostnaden vara dubbelt så stor, 200 000 kr på grund av att vi inte har samma kunskap om gårdsbaserade biogas-anläggningar som i Tyskland.

Specifika kostnader för Plönninge

Specifika kostnader för Plönninge är den extra gaspannan för uppvärmning av rötchammaren och den 230 m långa gasledningen mellan gaslager och panncentral. Extra rötrestlager och någon typ av sönderdelningsutrustning är specifika kostnader för det större alternativet där hästgödsel skall rötas. En foderblandarvagn av märket SEKO eller motsvarande antas kunna sönderdela hästgödseln och kostnaden är 190 000 kr för en vagn med 11 m³ behållare (Eriksson, pers. medd.). Kostnaden för en 615 m³ flytgödselbehållare är ca 145 000 kr exkl. schaktarbeten (Wahlström, pers. medd.). De specifika kostnaderna för Plönninge är 120 000 kr för alternativ 1 och 475 000 kr för alternativ 4, se bilaga 6.

Energiproduktion

För att tillgodogöra sig energin i biogasen behövs antingen en gaspanna som bränner gasen och värmer vatten eller en gasmotor som ger el och värme. Materialkostnaden för en gaspanna inkl. brännare är 45 000-50 000 kr i Sverige och en gasmotor med dual-fueldrift inkl. generator kostar 150 000-250 000 kr i Tyskland (Hochreiter, 1998). Detta gäller de storlekar som är aktuella på Plönninge. I kraftvärmefallet tas investeringen för gaspannan bort, se bilaga 6.

Övrig el, styrutrustning och installation av panna eller motor antas kosta ca 80 000 kr.

Investeringskostnaderna för alternativ 1 och 4 är sammanställda i tabell 8 och 9.

Tabell 8. Investeringskostnader för biogas på Plönninge.

	Alternativ 1 kr	Alternativ 4 kr
Material	565 000	645 000
Arbete	245 000	245 000
Gaspanna inkl. installation	125 000	130 000
Gasmotor inkl. installation	240 000	330 000
Specifika kostnader Plönninge	120 000	475 000
Specifika kostnader Sverige	100 000	100 000

Tabell 9. Total investeringskostnad för biogas på Plönninge.

	Alternativ 1 kr	Alternativ 4 kr
Värmeproduktion	1 155 000	1 595 000
El- och värmeproduktion	1 270 000	1 795 000

Annuitet av investeringen

Livslängd och kalkylränta

Ekonomisk livslängd för anläggningens delar är satt till 5 år för gasmotor och blandarvagn, 8 år för gaslager och 15 år för övriga komponenter (Hjort-Gregersen, 1997). Restvärdet antas vara 0 kr då marknaden för gårdsbaserade biogasanläggningar är mycket begränsad i Sverige.

Kalkylräntan är satt till 7 % reall och motsvarar en investering med relativt hög risk (LRF konsult, pers. medd.). Som jämförelse räknar LRF konsult med 3-4 % kalkylränta på åkermark, 5-7 % på byggnader och ca 7 % på maskiner. Med dessa data som grund har den årliga kapitalkostnaden av investeringen beräknats med hjälp av annuitetsmetoden. Kostnaderna är sammanställda i tabell 10.

Tabell 10. Årlig kapitalkostnad av investeringen och genomsnittlig avskrivningstid för gårdsbaserad biogas på Plönninge.

	Alternativ 1	Alternativ 4
Värmeproduktion	132 000 kr	205 000 kr
El- och värmeproduktion	176 000 kr	271 000 kr
Avskrivningstid värmeprod.	14 år	12 år
Avskrivningstid el- och värmeprod.	10,5 år	9 år

Drift av anläggningen

Skötsel och underhåll exklusive energiproduktion

Kostnaden för den dagliga driften av biogasanläggningen är även den mycket svår att uppskatta dels beroende på att den varierar mellan 40 och 300 timmar per år i danska biogasanläggningar som endast rötar flytgödsel och fiskolja (Hjort-Gregersen, 1997), dels beroende på att Plönninge vill röta mycket stråhaltigt material. Den dagliga driften antas till 2 timmar per vecka, vilket innebär 100 tim/år. Merarbetet vid hanteringen av kletgödsel, ensilage och betblast antas också till ca 100 tim/år. Transporten av ensilage och hästgödsel till lagerplatta vid biogasanläggningen antas ta ungefär lika lång tid som dagens hantering och tas därför inte med i beräkningen.

Underhåll av anläggningen antas kosta 4,50 kr/m³ substrat (Hjort-Gregersen, 1997). Normalt ökar underhållet med tiden, men sätts konstant för att underlätta beräkningen.

Den interna elförbrukningen antas motsvara 3 % av energin i biogasen (Edström, pers. medd.). Som jämförelse anger Schulz (1996) en elförbrukning på 1,3 % vid rötning av nötflytgödsel. Det högre antagna elbehovet beror på att anläggningen rötar betydande mängder fasta substrat som behöver sönderdelas innan rötning och dessutom är den beräknade ts-halten relativt hög, vilket leder till ökat elbehov för omrörning.

I alternativ 4 tillkommer malning av hästgödsel som antas ta 2 timmar per vecka i 40 veckor per år, totalt 80 timmar per år och ökad rötrestspridning i form av hästgödsel och spädvatten. Mängden är ca 800 m³ per år och spridningskostnaden antas vara 20 kr/m³ (Malgeryd, pers. medd.). Driftskostnaden för alternativen är sammanställd i tabell 11.

Tabell 11. Årlig driftskostnad exkl. energiproduktion.

	Alternativ 1 kr/år	Alternativ 4 kr/år
Skötsel och underhåll	45 000	61 500
Ökad gödselspridning p.g.a. rötrest	0	16 000
Summa årlig driftskostnad	45 000	77 500

Växtnäringsvärde

Vid rötning av gödsel kommer kväve att mineraliseras och övergå till ammoniumkväve. Samtidigt ökar risken för lagrings- och spridningsförluster. Ammoniumkvävetillförseln till grödan beräknas öka med 1100 kg jämfört med nuvarande hantering. Detta beror på att svingödseln hanteras som flytgödsel istället för kletgödsel, att ensilage rötas och att ammoniumkväveinnehållet i rötrest antas vara 5 % högre än för flytgödsel, se bilaga 5. I alternativ 4 ökar fosfor- och kaliuminnehållet motsvarande det som finns i hästgödseln. Ammoniumkväveinnehållet i hästgödsel är obetydligt och förväntas inte öka nämnvärt vid rötning.

Transportkostnad hästgödsel

Dagens hantering av hästgödseln innebär att Plönninge får betala ca 50 000 kr per år för transport till svampkomposttillverkning vid Fammarp. (Bågenholm, pers. medd.). Denna kostnad kan undgåas om de istället rötar hästgödseln. Driftsintäkten för alternativen är sammanställd i tabell 12.

Tabell 12. Årlig driftsintäkt exkl. energiproduktion.

	Alternativ 1 kr/år	Alternativ 4 kr/år
Minskad transport hästgödsel	0	50 000
Ökat växtnäringsvärde	5 500	18 000
Summa årlig driftsintäkt	5 500	68 000

Värde av producerad energi

Värmeproduktion i gaspanna

Med investerings- och driftskostnaderna som grund har det pris på den producerade värmen i gaspannealternativet räknats ut som gör att intäkter och kostnader är lika stora. Förutsättningar är att priset gäller producerad värme och ej rågas. Underhållet för pannan antas vara 1,5 öre/kWh och verkningsgraden 90 % (Edström, pers. medd.). Resultatet redovisas i tabell 13, se även bilaga 7.

Tabell 13. Priset på producerad värmeenergi för att täcka drifts- och kapitalkostnad.

	Alternativ 1	Alternativ 4
Värmepris per producerad kWh	53 öre	48 öre

Jämförelse mot uppvärmning med olja

Plönninge vill i första hand minska sitt oljeberoende för uppvärmning av lokaler. I september 1999 betalades ca 3 200 kr/m³ olja inkl. 1 785 kr energi- och miljöskatt

exkl. moms (Eliasson, pers. medd.). Oljepriset varierar mycket, t.ex. var priset 2 600 kr/m³ våren 1999.

Våren 2000 kommer regeringen att lägga fram en proposition om att lantbruk skall få samma skatteregler för konsumerad energi som industrin. Det innebär att energiskatten tas bort på förbrukad elenergi och sänks till 524 kr/m³ för eldningsolja klass 1. Privat förbrukning av el och olja till t.ex. bostäder omfattas inte av förslaget. Sannolikheten för att förslaget skall gå igenom är mycket stor då samtliga borgerliga partier är positivt inställda (Lundkvist, pers. medd.).

Verkningsgraden på oljepannan antas vara 85 % (Almkvist & Nilsson, 1992) och investeringskostnaden ca 4 öre/kWh, vilket motsvarar en gaspanna inkl. installation då endast brännaren skiljer dem åt. Priset per producerad kWh värme vid oljeeldning redovisas i tabell 14.

Tabell 14. Pris för uppvärmning med eldningsolja med oljepris från 991001.

	Kr/m ³ eldn. olja	Öre/kWh värme
Industri och lantbruk från 1 jul 2000	1940	26,80
Lantbruk t.o.m. 30 jun 2000 och institutioner	3200	41,65
Privatpersoner	4000	51,05

Naturbruksgymnasier kan dra av momsen för eldningsolja, men kommer troligen inte att få lägre energiskatt, då mycket av oljan används till uppvärmning av bostäder och lokaler. Värmeproduktion är inte ekonomiskt lönsamt utan bidrag för Plönninge om de inte själva värderar biogasen som ett bättre bränsle på grund av minskade utsläpp av skadliga ämnen, förbättrad miljöimage etc. Priset för oljan behöver höjas med ca 800 kr/m³ eller 10 öre/kWh för att biogasen skall vara ekonomiskt konkurrenskraftig. Viktigt att tänka på är att 100 % utnyttjandegrad av producerad värme från biogas är orealistiskt i många fall på gårdsnivå.

El- och värmeproduktion i gasmotor

Det pris på producerad el har räknats ut som gör att intäkterna blir lika stora som anläggningens kostnader. Förutsättningar är att en dual-fuelmotor används vid energiproduktion, underhållskostnaden är 15 öre/producerad kWh el (Hjort-Gregersen, 1997), 10 % av energin är diesel för tändning i dual-fuelmotorn (Schulz, 1996) och verkningsgraden är 30 % för el och 55 % för värme (Hjort-Gregersen, 1997). Värdet av den producerade värmen sätts till 41,65 öre/kWh, vilket motsvarar uppvärmningskostnaden för olja. Resultatet av beräkningen redovisas i tabell 15, se även bilaga 7.

Tabell 15. Pris på producerad elenergi för att täcka drifts- och kapitalkostnad.

	Alternativ 1	Alternativ 4
Elpris per producerad kWh	141 öre	126 öre

Jämförelse mot köpt el

Dagens elpriser är ännu mer komplicerade än oljepriset på grund av att avgiften för distribution av el skiljer beroende på vilket bolag som har hand om elnätet och hur mycket och under vilken tid på året som förbrukningen sker. I Plönninges fall betalas ca 16 öre/kWh för elkraft och 13 öre/kWh för elnätet i september 1999 (Eliasson, pers. medd.). Ovanpå det tillkommer energiskatt, moms och avgift för abonnemang.

Tabell 16. Pris för elenergi med Plönninges kraft- och nätpriser 99-10-01 som grund exkl. abonnemang.

	Skatt öre/kWh	Totalt öre/kWh el
Industri och lantbruk från 1 jul 2000	0	29
Lantbruk t.o.m. 30 jun 2000 och institutioner	15,10	44,10
Privatpersoner	15,10 + moms	55,12

Att producera el i en kraftvärmeanläggning är ett dyrt alternativ jämfört med att köpa el till rådande priser. För ett lantbruk blir det från och med 1 juli 2000 ca 1 krona/kWh dyrare att använda el från en biogasanläggning än att köpa el, se tabell 15 och 16. Även om el kan ersätta privat förbrukning kostar det ca 50 öre/kWh mer att använda el från gårdsbaserad biogas än att köpa el från nätet.

I Sverige är det förmodligen mer lönsamt att använda en ottomotor istället för en dual-fuelmotor på grund av att dieselpriiset är högre och ersättningen för levererad ström ut på nätet är betydligt lägre än i Danmark och Tyskland. På ett "normalt" lantbruksföretag utan stort uppvärmningsbehov av bostäder och lokaler är det svårt att utnyttja all producerad värme sommartid om gaspanna används. Elgenerering i en gasmotor är mer realistiskt då upp till hälften av den producerade värmen från gasmotorn kan användas till uppvärmning av rökammaren.

Vid leverans ut på nätet får i dagsläget en småskalig elproducent under 1500 kW ca 25 öre/kWh där elbolagen betalar ca 14 öre/kWh för kraften och resten är bidrag (Bernesson, pers. medd.). Vindkraft får dessutom en statlig bonus om 15,1 öre/kWh motsvarande energiskatten.

Känslighetsanalys

Investeringsbidrag

De gårdsbaserade anläggningar som byggs i Tyskland och Danmark får investeringsbidrag i varierande omfattning. I Sverige finns möjligheten att söka pengar ur det lokala investeringsprogrammet. I känslighetsanalysen har elpriset satts till 29 öre/kWh, vilket är det elpris Plönninge betalar för lantbruksdelen efter 1 juli 2000 eftersom lantbruket antas förbruka den största delen av elenergin. Värmepriset har satts till 41,65 öre/kWh, vilket är det pris Plönninge betalar för värme producerad från olja. Resultatet redovisas i tabell 17, se även bilaga 7.

Tabell 17. Erforderligt investeringsbidrag för att täcka drifts- och kapitalkostnad med energipriser från 1 jul 2000.

	Alternativ 1	Alternativ 4
Värmeproduktion i gaspanna	30 %	14 %
El- och värmeproduktion i gasmotor	70 %	55 %

Känslighetsanalysen visar att värmeproduktion i gaspanna från biogasanläggningen kräver relativt låga investeringsbidrag, men i praktiken är det väldigt få gårdar som kan tillgodogöra sig all värme för bostadsuppvärmning. Om gasen istället används till uppvärmning av t.ex. växthus eller svinstallar är motsvarande energipris för uppvärmning med olja 26,80 öre/kWh värme efter 1 jul 2000. Då krävs ca 65 % investeringsbidrag för alternativ 1 och 45 % för alternativ 4.

Elproduktion i en dual-fuelmotor kräver stora bidrag för att täcka drifts- och kapitalkostnader. Om bidragsbehovet skall vara under 30 % krävs andra inkomstkällor, t.ex. rötning av energirika, lätthanterliga avfall där behandlingsavgift utgår.

Energirikt avfall istället för hästgödsel

Mängden avfall antas vara 400 ton med en specifik gasproduktion på 50 m³ metan/ton för att erhålla ungefär lika stor energiproduktion som från hästgödsel.

Behandlingsavgiften för avfallet antas vara 300 kr/ton vid leverans till biogasanläggningen (Edström, pers. medd.). Att en behandlingsavgift antas kunna tas ut beror på den kommande skatten på 250 kr/ton vid deponering av organiskt avfall förutom den avgift deponin redan nu tar för att ta emot avfallet. Som jämförelse ligger behandlingsavgiften på organiskt avfall i Tyskland på 90-900 kr/ton, i Österrike på ca 650 kr/ton och Schweiz på 75-400 kr/ton (Lindberg & Edström, 1998).

Skillnaden i investering jämfört med att röta hästgödsel är att mindre rötchammar och isolering behövs, foderblandarvagn behövs ej och extra rötrestlager blir 400 m³ mindre. Avfallet antas inte kräva någon hygienisering. För att räkna ut erforderlig rötchammarvolym antas uppehållstiden vara samma som för hästgödsel (Edström, pers. medd.). I avfallsalternativet blir totala rötchammarvolymen 390 m³ och investeringskostnaden sjunker till 1 300 000 kr vid värmeproduktion och 1 500 000 kr vid kraftvärmeproduktion. Den årliga kapitalkostnaden minskar med ca 58 000 kr.

Skillnad i driftskostnader är att underhållsbehovet och rötrestspridning minskar på grund av minskat flöde, malning av hästgödsel behövs ej och transportkostnaden för hästgödsel ligger kvar. Totalt växtnäringsinnehåll i 400 ton avfall och 470 ton hästgödsel antas vara lika. Den årliga driftskostnaden minskar med ca 21 000 kr. Resultatet av beräkningen redovisas i tabell 18 och 19, se även bilaga 7.

Det lägre erforderliga energipriset vid rötning av avfall istället för hästgödsel beror på minskade drifts- och kapitalkostnader i alternativet utan behandlingsavgift. De årliga kostnaderna sjunker med 79 000 kr/år och intäkten minskar med 50 000 kr/år på grund av att transportkostnaden för hästgödsel kvarstår. Totalt förbättras resultatet med 29 000 kr/år, vilket leder till ett minskat pris på energin

med ca 5 öre/kWh fördelat på de ca 510 MWh energi som produceras netto. I alternativet med behandlingsavgift ökar intäkten med 120 000 kr/år, vilket leder till en ytterligare sänkning av energipriset med ca 25 öre/kWh.

Tabell 18. Pris på producerad värmeenergi för att täcka drifts- och kapitalkostnad.

	Alternativ 4b
Pris per producerad kWh utan beh.avgift	43 öre
Pris per producerad kWh med beh.avgift	17 öre

Tabell 19. Pris på producerad elenergi för att täcka drifts- och kapitalkostnad. Värmen är värderad till 41,65 öre/kWh.

	Alternativ 4b
Pris per producerad kWh utan beh.avgift	112 öre
Pris per producerad kWh med beh.avgift	33 öre

Hästgödsel är ett relativt dyrt avfall att röta då det ger ett måttligt gasutbyte per kg VS och är förknippat med relativt stora kostnader vid förbehandling. Det är istället den minskade transportkostnaden som gör att hästgödsel är ekonomiskt intressant att röta. Av stor vikt är således att behandlingsavgift utgår vid rötning av avfall, samt att eventuell förbehandling är enkel och inte kräver stora investeringar.

Slutsatser

- Att gjuta rötammaren av betong är helt dominerande i Tyskland, men är mer komplicerat i Sverige då vi inte vunnit kunskap och erfarenhet om byggnadstekniken och betongelement är dominerande vid byggnation av flytgödselbehållare.
- Dual-fuelmotorer är helt dominerande vid kraft-värmeproduktion från biogas i Tyskland, men är inte lika intressant i Sverige på grund av lägre elpris och högre skatt på diesel till fordon. I Sverige är det mer intressant än i Tyskland att använda en ombyggd bensinmotor istället.
- Regeringens förslag om sänkta energiskatter för lantbruksföretag försämrar lönsamheten och minskar motivationen att bygga gårdsbaserade biogasanläggningar.
- Även om vi i Sverige lyckas bygga gårdsbaserade biogasanläggningar till samma låga kostnad som i Tyskland så behöver förutsättningarna vara väldigt goda med t.ex. stor utnyttjandegrad av producerad värme för att en anläggning skall vara ekonomiskt lönsam.
- Värmeproduktion från gaspanna på Plönninge kräver relativt låga investeringsbidrag för att vara ekonomiskt lönsamt om all producerad värme kan nyttiggöras. Elproduktion i en dual-fuelmotor är inte ekonomiskt lönsamt utan någon form av bidrag.

- Rötning av avfall kan ge en påtagligt förbättrad ekonomi, speciellt om en behandlingsavgift erhålls för avfallet och förbehandlingskostnaden för avfallet är låg.
- Svampkompost är ett dåligt rötsubstrat på grund av lågt specifikt gasutbyte och stort spädvattenbehov. Hästgödsel ger något lägre metanutbyte per kg VS än nötflytgödsel. Hästgödseln behöver sönderdelas innan rötning vilket kan bli dyrt och den stora andelen halm kan leda till problem med svämtäckesbildning i röt-kammaren.
- Sönderdelning av hästgödsel och byggnation av röt-kammare av betong behöver utredas ytterligare innan en eventuell biogasanläggning byggs på Plönninge. Om anläggningen byggs finns ett forskningsbehov för att utreda miljökonsekvenserna av gårdsbaserad rötning, samt hur växtnäringsutnyttjandet förändras jämfört med tidigare hantering av substraten på grund av att det få studier utförda på verkliga anläggningar.

Referenser

- Almkvist A. & Nilsson D., 1992. *Kompendium i lantbrukets energiteknik*. Rapport 155. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Andersson R., 1990. *Byggnadsmateriallära – grundläggande materialkunskap*. Härnö-förlaget AB, Härnösand.
- Arbetsgruppen for gårdbiogasanlegg ,1997. *Gårdbiogas*. Arbetsgruppen for gårdbiogasanlegg, Viborg, Danmark.
- Biskupek B., 1998. *Kofermentation*. Kuratorium fur Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, Tyskland.
- Christensen J., Tafdrup S., Hjort-Gregersen K., Dejgård J., Birkmose T., 1995. *Biogasfellesanleg – fra idé til realitet*. Energistyrelsen, Köpenhamn.
- Dalemo M., Edström M., Thyselius L. & Brolin L., 1993. *Biogas ur vallgrödor*. Rapport 162. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Dansk bioenergi, 1999. *Saer Nummer af Dansk bioenergi*. Dansk bioenergi Juni 1999.
- Databok för driftsplanering, 1996. SLU, Uppsala.
- Databok för driftsplanering, 1983. SLU, Uppsala.
- Edström M. & Wikberg A., 1993. *Uppföljning av mindre biogasanläggningar i lantbruket*. Rapport 156. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Gullfiber, 1996. *Produktkatalog – Gullfiber byggisolering*.
- Hauer I., 1993. *Biogas-, klärgas- und deponiegasanlagen im Praxisbetrieb*. Rapport 192. Österreichisches Kuratorium fur Landtechnik und Landentwicklung, Österrike.
- Hjort-Gregersen K., 1997. *Ökonomen i gårdsbioanlegg*. Statens jordbrugs- og Fiskeriökonomiske Institut, Danmark.
- Hochreiter, 1998. *Produktinformation om dual fuel- och gas otto-motorer*.
- Holm-Nielsen J. B., Halberg N. & Huntingford S., 1993. *Biogasfellesanleg – lantbruksmessige nytteverdier. Omsetningsforhold af N, P og K*. Energi-styrelsen, biogassekretariatet, Danmark.
- Hushållningssällskapet, 1999. *Växtnäringsbalans utförd med programmet stank 1999-04-22*.

- Jakobsson C., Steineck S. & Djurberg L., 1995. *Hästar gödsel och miljö*. Jordbruksinformation 16. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jarvis Å., 1996. *Evaluation of silage-fed biogas process performance using microbiological and kinetic methods*. Rapport 63. Institutionen för mikrobiologi, SLU, Uppsala.
- Jocknick K., 1998. *Biogasproduktion på Hällingsbo gård*. Institutionen för jordbrukets biosystem och teknik SLU, Alnarp.
- Jordbruksverket, 1996. *Regler för stallgödsel och grön mark*. Jordbruksinformation 4-1996. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 1997. *Statens jordbruksverks föreskrifter om hantering av djurkadaver och annat organiskt avfall*. SJVFS 1998:34.
- Jordbruksverket, 1999. *EG:s regler om odling och kontroll av ekologiska jordbruksprodukter*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Karlsson S. & Svensson L., 1993. *Konvertering av fast- och kletgödsel till flytgödsel*. Rapport 157, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- KRAV, 1999. *Kravregler 1999*. KRAV, Uppsala.
- Köberle E., 1997. *Farm-scale biogas development in southern Germany*. The future of biogas in Europe. Herning Congress Centre 8-10 september -97.
- Landstinget Halland, 1998. *Ansökan till det lokala investeringsstödet – biogas-anläggning vid Plönninge*.
- Lindberg A. & Edström M., 1998. *Småskalig biogas i norra Europa – en nulägesbeskrivning*. Rapport 1998:3. Miljöteknikdelegationen, Stockholm.
- LRF, 1997. *Biodrivmedel. Information om etanol, biogas och RME*. Lantbrukarnas riksförbund, Stockholm.
- Möller E., Thulesen A., Maegaard P., 1990. *Bedriftsprovning af biogasanlegg*. Nordvestjysk center for vedvarende energi, Hurup, Danmark.
- Naturvårdsverket, 1998. *Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket*. SNFS 1994:2 med ändring i 1998:4. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Naturvårdsverket, 1998. *Förslag till certifieringssystem för kompost och rötrest från organiskt avfall*. AFR-report 216. AFN, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Renhållningsförordningen SFS 1998:902.
- Schulz H., 1996. *Biogaspraxis - Grundlagen Planung Anlagenbau Beispiele*. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, Tyskland.
- Sommer S. G. & Christensen B. T., 1990. *Ammoniakfordampning fra fast husdyrgødning samt ubehandlet, afgasset og filteret gylle efter overfladeudbringning, nedfeldning, nedharvning og vanding*. Tidsskrift for planteavl 94, Danmark.
- Statens energiverk, 1989. *Värmeproduktion med gasol*. R7. Allmänna förlaget, Stockholm.
- Statens livsmedelsverk, 1993. *Livsmedelstabell – energi och näringsämnen*.
- Thyselius L., 1982. *Biogas från gödsel och avfall*. Meddelande 391. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Walther A., 1985. *Die heizungsdimensionierung von biogasanlagen*. Zeitschrift Gas, Wasser, Abwasser nr 2, Tyskland
- Wellinger A., Baserga U., Edelman W., Egger K., 1991. *Biogas-handbuch*. Verlag Wirz, Aarau, Österrike.
- Wikberg A. & Edström M., 1998. *Gårdsbaserad biogas – någonting för Sverige?* Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Personliga meddelanden

Bernesson S. Inst. för lantbruksteknik, SLU.
Björling R. KRAV.
Bågenholm O. Naturresursforum Halland.
Edström M. JTI.
Eriksson C. Svenska Neuero AB.
Eliasson L. Plönningegymnasiet.
Hansson G. Önnestads naturbruksgymnasium.
Jonsson C. JTI.
Karlsson S. JTI.
Lagerkvist C-J. Inst. för ekonomi, SLU.
Lundkvist L-E. LRF.
Malgeryd J. JTI.
Nordberg Å. JTI.
Steineck S. JTI.
Svensson S-G. Nilsagårds champinjoner AB.
Wahlström A. A-betong, Uppsala.

Bilagor

1. Gasutbyten vid satsvis utrötning.
2. Fyra rötningsalternativ.
3. Viktiga data för alternativen.
4. Dimensionering av röt-kammarens storlek.
5. Extra ammoniumkväve till grödan vid rötning.
6. Ekonomisk kalkyl över gårdsbaserad biogas på Plönninge.
7. Beräkning av erforderliga energipriser och investeringsbidrag.