

**JTI-rapport**  
Kretslopp & Avfall

**42**

**Gårdsbaserad  
biogasproduktion**

**System, ekonomi och klimatpåverkan**

Mats Edström  
Lars-Erik Jansson  
Mikael Lantz  
Lars-Gunnar Johansson  
Ulf Nordberg  
Åke Nordberg



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

**2008**



# Gårdsbaserad biogasproduktion

## System, ekonomi och klimatpåverkan

*Farm scale biogas production*

Mats Edström, Åke Nordberg, Ulf Nordberg,  
JTI – Institutet för miljö- och jordbruksteknik

Lars-Erik Jansson, LRF Konsult

Lars-Gunnar Johansson, LRF

Mikael Lantz, Miljö- och energisystem, LTH  
vid Lunds universitet



**LANTBRUKARNAS  
RIKSFÖRBUND**

© JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2008

Citera oss gärna, men ange källan.



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	9
Bakgrund.....	10
Syfte och mål .....	12
Beskrivning av förutsättningar.....	12
Beskrivning av olika gårdar .....	12
Kriterier för dimensionering .....	14
Gårdens behov av värme vid typanläggning 1 och 2.....	14
Systembeskrivning av typanläggningar .....	17
Sammansättning på substrat och gasproduktion.....	17
Massflöden i typanläggningar .....	18
Processenergi och arbete för drift.....	18
Utformning av biogasanläggningar .....	20
Produktion av rötrest och dess växtnäringssinnehåll .....	26
Utsläpp av klimatgaser och energiutbyte vid användning av biogas.....	28
Ekonomi.....	30
Tyska förutsättningar .....	30
Svenska förutsättningar .....	31
Investerings- och kapitalkostnader.....	31
Årliga kostnader .....	33
Pris på energigröda och värdering av rötrest.....	33
Årliga kostnader .....	34
Produktionskostnad för biogas .....	35
Avsättning av biogas och dess värde .....	35
Värmeproduktion.....	35
Kraftvärmeproduktion .....	36
Lokala gasnät.....	38
Bidragsnivå för att uppnå konkurrenskraftig produktion .....	39
Känslighetsanalys.....	39
Ekonomiska konsekvenser för variation i indata i grundkalkyl .....	39
Avfallets ersätts med energigröda .....	46
Ingen efterrötning .....	46
Reducerad gödselmängd typanläggning 3a .....	47
Effektiv organisation .....	47
Elproduktion .....	47

Diskussion och slutsatser .....	48
Referenser .....	53
Personliga meddelanden.....	54
Webbplatser.....	54
Bilaga 1. Beräkning av gårdens behov av värme för typanläggning 1 och 2 .....	55
Bilaga 2. Använda nyckeltal .....	63
Bilaga 3. Beräkning av rötrestproduktion och växtnäringsutnyttjande .....	65
Bilaga 4. Värdering av rötrest.....	67
Bilaga 5. Klimatgasutsläpp .....	69
Odling av energigröda och användning av biogas.....	70
Bilaga 6. Kostnad för lokalt biogasnät.....	73

## Förord

JTI har tillsammans med LRF Konsult, LRF och Lunds universitet genomfört denna undersökning där de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion i olika skalor, råvaror för gasproduktion och avsättningsområden har studerats. Dataunderlaget till de ekonomiska kalkylerna kommer i stor utsträckning från tyska källor. Projektet har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskningens FUD-program för bioenergi samt av LRF.

Projektet har löpt under perioden 2006-06-01 till 2008-05-15 och har genomförts av Mats Edström (projektledare), Åke Nordberg och Ulf Nordberg från JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Lars-Erik Jansson från LRF Konsult, Lars-Gunnar Johansson från LRF samt Mikael Lantz och Pål Börjesson från LTH, Lunds universitet, avd för miljö- och energisystem vid institutionen för teknik och samhälle.

För att sprida information om gårdsbaserad biogasproduktion anordnade LRF Konsult och LRF ett biogasseminarium under hösten 2007 på Plönninge Naturbruksgymnasium med tema gårdsbaserad biogasproduktion, där bland annat resultaten från denna studie redovisades. Vidare har resultat presenterats vid Lantbruksriksdagen i Lycksele under vintern 2008, under en LRF-anordnad temakväll om biogas i Sandviken under våren 2008 samt en temakväll anordnad av Hushållningssällskapet om biogas i Bräkne-Hoby hösten 2007.

I rapporten har LRF Konsult och JTI tillsammans arbetat med de kapitel där årliga produktionskostnader har beräknats. LRF Konsult har genomfört beräkningar för lokala gasnät. Vidare har Lunds universitet genomfört kalkyler där biogas används för kraftvärmeproduktion och tillsammans med JTI genomfört kalkyler över utsläpp av klimatgaser. LRF har gett synpunkter på utformning av typgårdar och resultatpresentation i rapporten. Systembeskrivningar, energibalanser, växtnäringsbalanser, sammanställning av uppgifter från tyska källor om gårdsbaserade biogasanläggningar samt beräkningar av investerings- och känslighetsanalysen har JTI genomfört.

Uppsala i juni 2008

*Lennart Nelson*

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik



# Sammanfattning

## Studerade alternativ

Syftet med projektet har varit att undersöka de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion i Sverige samt beräkna växtnäring- och klimatnyttan. För att kunna ge en mer generell bild över lantbrukets förutsättningar att producera biogas jämförs 3 olika typgårdar som har olika mål med sin anläggning enligt följande:

1. Rötning av en mindre gödselmängd, där producerad biogas används för att täcka värmebehovet för uppvärmning motsvarande 1–2 bostadshus på gården.
2. Rötning av en större gödselmängd, där producerad biogas används för kraftvärmeproduktion via en motor där motorns kylvatten räcker för uppvärmning av 3–4 bostadshus på gården och där producerad el delvis används på gården och överskottet säljs ut på nätet.
3. Produktion av biogas till en gasmarknad som antas finnas i närheten av anläggningen. Anläggningen samrötar energigröda med gödsel och ett vegetabiliskt avfall och producerar ca 6 GWh biogas/år. I detta alternativ har ekonomin för rötning av energigrödorna ensilerad vallgröda, majsensilage och spannmål jämförts.

## Nuläge, kalkylförutsättningar och resultat

Tyska biogasföreningen anger att det år 2006 fanns ca 3 500 gårdsanläggningar i Tyskland som tillsammans producerar mer än 5 TWh el per år (Horbelt, pers. medd., 2006). Det färdigställs ett stort antal nya anläggningar varje månad, vilket har gjort att det finns ett större antal företag som levererar kompletta gårdsanläggningar.

I Sverige byggs det någon enstaka gårdsanläggning per år och dessa är oftast designade för utbildnings- och demonstrationsändamål varför det finns högst begränsad variation i olika tekniska systemlösningar och erfarenheter från drift av nybyggda svenska gårdsanläggningar. Den hittills begränsade marknaden i Sverige har lett till att varje anläggning krävt individuell projektering, och därmed har investeringskostnaderna blivit relativt höga. Intresset hos leverantörer har dessutom varit svagt för att vidareutveckla mer kostnadseffektiva koncept. Detta gör att svenska uppgifter om investeringen för att uppföra anläggningar men även kostnaderna för att driva dem är väsentligt högre.

Om det i Sverige börjar byggas ett betydande antal gårdsbaserade biogasanläggningar per år bedömer vi att den tyska investeringsnivån som idag råder också kommer att gälla för svenska anläggningar. I studien har därför huvudsakligen tyska uppgifter använts för att beräkna investeringen, avskrivningstider, underhållskostnader och arbetsbehov för drift. I tabell 1 finns några resultat från dessa ekonomiska kalkyler.

Tabell 1. Anläggningsstorlek, investering, produktionskostnad för biogas (nettoproduktion efter att röt-kammarens uppvärmningsbehov räknats bort), ökad växt-näringstillgång och reduktion av klimatgaser (i ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/år).

	Energigröda	Typanläggningar				
		1	2	3a	3b	3c
		Nej	Nej	Vall	Majs	Spannmål
Rötkammarvolym	m <sup>3</sup>	55	300	1500	1100	1100
Investering <sup>b)</sup>	Mkr	0,45	1,42 <sup>a)</sup>	7,5b)	6,6b)	5,4b)
Produktionskostnad, rågas	kr/kWh	0,94	0,35	0,29	0,31	0,35
Energinytta (del av nettoproduktionen som ger ekonomisk intäkt)	MWh/år	49	320	6270	6060	6080
Växtnäringsnytta (nitratkväve) <sup>c)</sup>	ton/år	0,13	0,99	19,9	10,3	12,4
Klimatgasnytta, reduktion	ton/år	32	286	1547	1214	1021

a) inkluderar investering för kraftvärmeproduktion

b) investeringen inkluderar bara rötningsanläggningen samt lager för överskott av flytande gödselmedel

c) uttryckt som den växtnäringsnytta som erhålls från denna mängd nitratkväve

### Känslighetsanalys

I rapporten finns också en omfattande känslighetsanalys som beskriver hur produktionskostnaden för biogasen varierar med avseende på följande parametrar:

1. investeringens betydelse
2. konsekvenser av investerings- och produktionsstöd
3. pris för energigröda
4. värdering av rötrestens innehåll av växtnäring
5. optimerad biogasproduktion genom hög röt-kammarbelastning men även effekt av efterrötning då energigröda rötas
6. behandlingsintäkter för avfall

### Avsättningsmöjligheter för biogas

I rapporten redovisas huvudsakligen ekonomin för anläggningen i form av en produktionskostnad för nettoproduktionen av biogas. Hänsyn har dock inte tagits till om det finns avsättning för den biogas som produceras, vilket ofta är en begränsande faktor för gårdsbaserad biogasproduktion. En gårds värmebehov är förhållandevis litet och varierar mycket under året, varför bara delar av den värme som en anläggning kan producera under ett år kan användas och ersätta andra bränslen som används för uppvärmning. Även då biogasen används för att producera elektricitet kommer också kylningen av kraftvärmeenheten att generera mycket värme. Delar av denna värme används för att värma upp röt-kammaren, men det blir ett värmeöverskott som kommer att vara i samma storleksordning som producerad elektricitet.

Eftersom ersättningen för elektricitet som säljs på nätet är låg i Sverige måste även producerad värme bidra med betydande intäkter för att få ekonomi på anläggningen.

## Ekonomiska förutsättningar

Kalkylerna för en mycket liten anläggning (typanläggning 1) som enbart rötar gödsel för värmeproduktion visar att det idag inte är ekonomiskt lönsamt. Den ekonomiska kalkylen är dock starkt beroende på hur eget arbete värderas och hur skatteeffekter på lantbrukarens privatekonomiska disponibla inkomst värderas.

Kalkylerna för en gårdsanläggning som bara rötar gödsel visar på att det idag inte heller är ekonomiskt lönsamt med kraftvärmeproduktion. En förutsättning för lönsam kraftvärmeproduktion är att produktionskostnaderna för rågasen ligger under 20 öre/kWh, att gården köper in mycket elektricitet som man kan ersätta med egenproducerad samt att det finns avsättning för mer än hälften av netto-producerad värme.

Någon av följande punkter måste gälla för att intäkterna från energin ska balansera anläggningskostnaden för typanläggning 2 med kraftvärmeproduktion:

- 40 % investeringsbidrag
- energipriserna för värme och el går upp med i medel 20 öre/kWh
- klimatnyttan av att röta gödseln värderas till 220 kr/ton minskade utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (dvs. en klimatgasrelaterad miljöersättning som betalas ut till anläggningsägare).

Kalkylerna för gårdsanläggningar av typ 3a–3c där flera gårdsanläggningar binder ihop sina biogasanläggningar med ett lokalt gasnät för att kunna nå en större marknad med hög betalningsförmåga för biogas, som till exempel drivmedelsmarknaden, bedöms ha ekonomiska förutsättningar om bensinpriset ligger kring 13 kr/liter eller högre. Detta system kräver dock väsentligt högre investeringar och en uppenbar flaskhals är den tid det kommer att ta att bygga upp en lokal marknad med gasdrivna fordon, vilket medför ett stort ekonomiskt risktagande för jordbruksföretag som vill sälja biogas med drivmedelkvalitet. Finns det ett naturgasnät inom rimligt avstånd kan det vara ett intressant alternativ att koppla på det lokala gasnätet på naturgasnätet och på detta sätt få avsättning för all producerad biogas.

Vi bedömer att de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion kommer att förbättras väsentligt inom en relativt nära framtid. Dagens fokus på att sänka utsläppen av klimatgaser kommer tolgvis att leda till stigande priser på energi. Detta kan öppna nya marknader som exempelvis livsmedel som producerats med låga utsläpp av klimatgaser. Detta kan i sin tur skapa affärsmöjligheter för system med effektivare nyttjanden av resurser som gödsel och avfall.

## Summary

The purpose of this study was to investigate economic conditions for farm-scale biogas production in Sweden and to calculate the nutrient and greenhouse gas benefits of such systems. To give a more general description of the agricultural sector's possibilities to produce biogas, a comparison is carried out for 3 different scales of production as follows:

- Alternative 1: Digestion of a small amount of liquid manure from cattle. Evolved biogas is used for heat production which is used to provide space heating and hot water for one or two cottages on the farm.
- Alternative 2: Digestion of a larger amount of liquid manure from pig production. The biogas is used for co-generation of heat and electricity. The heat produced is used to provide space heating and hot water on 3-4 cottages at the farm.
- Alternative 3: Production of approx. 6 GWh biogas/year for direct sale on the external gas market. The plant co-digests energy crops, manure and vegetable waste. In this case the following energy crops are compared: a) ensiled ley crop, ensiled maize and c) grain.

In the economic analysis, most of the data used comes from German sources. A summary of the most important figures is shown in table 1b.

*Table 1b. Plant size, investment, production cost for farm scale biogas production (net-production after heating the digester) and reduction of climate gases (in ton CO<sub>2</sub>-ekivalent/year).*

		Plant alternative				
		1	2	3a	3b	3c
	Energy crop	-	-	Ley crop	Maize	Corn
Digester volume	m <sup>3</sup>	55	300	1500	1100	1100
Investment	MSEK	0,45	1,42 <sup>a)</sup>	7,5b)	6,6b)	5,4b)
Production cost, raw biogas	SEK/kWh	0,94	0,35	0,29	0,31	0,35
Sold energy (that generates income)	MWh/year	49	320	6270	6060	6080
Reduced emission of GHGs	tonnes/year	31	284	1547	1214	1021

a) also includes investment for co-generation plant.

Based on the current market prices for energy in Sweden, only plant alternatives 3a-3c, where the biogas is upgraded for use as vehicle fuel are profitable for the farmer. However, one significant barrier is that there is currently no significant market for vehicle fuel-grade biogas in Sweden, makes it difficult for farmers building up new local market.

The purchase price of electricity from biogas is lower in Sweden than the most countries in Europe. The current prevailing market price for electricity is on the other hand quite volatile and future price increases are likely. The debate about how to reduce GHG emissions from the agricultural has recently attracted increased interest in wider circles. It is also likely that the Swedish government will start an investment program for farm scale biogas production from year 2009. Taken together, this can result in a rapid growth in the number of farm-scale biogas plants in Sweden, both generating electricity and selling to the vehicle fuel market.

## Bakgrund

Sverige har under en lång period haft relativt låga priser på energi, vilket har gjort att det inte har funnits några ekonomiska motiv för lantbrukare att bygga gårdsbaserade biogasanläggningar. De stigande energipriserna har dock skapat en drivkraft att minska inköp av energi och handelsgödsel (där kostnaden för energi utgör

en stor del av produktionskostnaden). Vidare pågår en förändring av driften av jordbruket som leder till större och effektivare enheter. Detta sammantaget förbättrar förutsättningarna för att etablera fler biogasanläggningar. Egna beräkningar utifrån officiell statistik på antalet husdjur visar att potentialen för gödsel är i storleksordningen 4 TWh.

Den statliga utredningen SOU 2007:36 pekade på att:

- gödselbaserad biogasproduktion kan förväntas bli ekonomiskt lönsam
- det är önskvärt att utveckla tekniken för framställning av gödselbaserad biogas.

Därför föreslog utredningen SOU 2007:36 att ett tidsbegränsat investeringsstöd lämnas på 30 % för biogasanläggning (inklusive kraftvärmeanläggning alternativt uppgraderingsanläggning för fordonsgas) för att stärka konkurrens- och utvecklingskraften hos företagen inom jordbruket. Vidare pekade man på att samrötning med annat material har positiva effekter på bl.a. gasutbyte. Förslaget blev att stödet bör ges även för samrötning med upp till 50 % andra substrat per ton torrsubstans. Detta har resulterat i att Jordbruksverket har fått i uppdrag av regeringen att redovisa hur stödet ska kunna utformas. Den 31 maj 2008 redovisade Jordbruksverket ett förslag till hur ett stöd ska kunna utformas inom landsbygdsprogrammet under åren 2009–2013, där både jordbruksföretag och mikroföretag på landsbygden ska kunna söka stödet. Ett villkor för stöd ska vara att minst 50 % av det substrat som rötas är stallgödsel.

Stödet föreslås vara 30 % av investeringskostnaden och det ska gälla i hela landet. Man ska kunna söka stöd för i princip alla nödvändiga investeringar i produktions- och förädlingsledet, men det finns ett takbelopp på 200 000 euro per företag som måste beaktas.

Verket föreslår att 40 miljoner kr per år ska avsättas till biogasstödet från befintlig budget i axel 3. Dessutom föreslår verket att ytterligare 100 miljoner kr per år ska tillföras biogasstödet under åren 2010–2013 som en följd av den utökade modulering som EU-kommissionen har föreslagit.

I Sverige byggs idag ca 1 ny gårdsanläggning per år (Edström & Nordberg, 2004). De jordbrukare som har satsat på gårdsbaserade biogasanläggningar i Sverige uppger att de har gjort detta av energi- och växtnäringsskäl. Vid gårdsanläggningar rötas normalt huvudsakligen flytgödsel. Biogasen kan i princip användas för att producera värme, kraftvärme eller fordonsgas. Det enklaste sättet är att använda gasen för att täcka gårdens behov av värme via en gaspanna, men under sommaren minskar värmebehovet kraftigt medan gasproduktionen är tämligen konstant. Vid produktion av kraftvärme visar beräkningar att även här är nyttjandet av värmen avgörande för lönsamheten (Lantz, 2004). Avgörande för ekonomin är även en hög gasproduktion per m<sup>3</sup> substrat (Hjort-Gregersen, 1999). Produktion av fordonsgas kräver gasflöden från ca 200 m<sup>3</sup>/h och högre, för att kostnaderna för uppgradering ska vara rimliga (Persson, 2003). Detta kräver antingen större anläggningar eller att gasproduktionen per reaktorvolym ökas alternativt att många gårdsanläggningar kopplats ihop via ett lokalt gasnät (Eriksson, pers. medd., 2008). Genom att tillföra rötammaren mer energirika substrat som t.ex. olika slags energigrödor, kan gasproduktionen ökas betydligt och anläggningen utnyttjas effektivare. Koppling till ekologisk produktion finns ofta i de existerande svenska anläggningarna, eftersom rötning av vallgrödor medger ett effektivare växtnäringsutnyttjande än gröngödsling samt större möjlighet att styra gårdens tillgängliga växtnäring (Soledad, 2005). Därmed kan värdet på växtnäringen öka.

Rötning av gödsel är en behandlingsmetod som har stor potential att påtagligt minska jordbrukets utsläpp av klimatgaser, vilket kan bli en mycket viktig parameter för att svenskt jordbruk ska kunna bedriva konkurrenskraftig produktion av livsmedel i framtiden. Denna reduktion av klimatgaser består dels av att biogasen kan ersätta fossila bränslen, dels genom att rötningen har stor potential att minska gödselns läckage av metan och lustgas till atmosfären. För att uppnå denna höga reduktion av klimatgaserna är det dock viktigt att de gårdsbaserade anläggningarna utformas på rätt sätt, i annat fall kan miljönyttan ätas upp av läckage av den kraftfulla klimatgasen metan. Det finns även andra miljöfördelar med rötning av gödsel såsom minskad lukt och ökat utnyttjande av dess kväveinnehåll.

Den hittills begränsade marknaden i Sverige har lett till att varje anläggning krävt individuell projektering, och därmed har investeringskostnaderna blivit relativt höga. Intresset hos leverantörer har dessutom varit svagt för att vidareutveckla mer kostnadseffektiva koncept. Det finns alltså ett behov av att identifiera vilka åtgärder som skulle kunna förbättra förutsättningarna för ökade intäkter samt minskade kostnader, och därmed en ökad utbyggnad av gårdsbaserad biogasteknik.

## Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion i Sverige. Målet med projektet är att kunna beskriva under vilka förhållanden som det finns förutsättningar för gårdsbaserad biogasproduktion.

## Beskrivning av förutsättningar

### Beskrivning av olika gårdar

För att kunna ge en mer generell bild över lantbrukets förutsättningar att producera biogas jämförs förutsättningar för 3 olika typgårdar som har olika mål med sin anläggning enligt följande:

1. I typanläggning 1 produceras biogas via rötning av en mindre gödselmängd, där producerad biogas används för att täcka värmebehovet för uppvärmning motsvarande 1–2 bostadshus på gården. I detta fall kan det ses som att lantbrukaren via att bygga en biogasanläggning utvecklar sin befintliga produktionsinriktning, genom att använda gårdens resurser på ett effektivare sätt.
2. I typanläggning 2 produceras biogas via rötning av en större gödselmängd, där producerad biogas används för kraftvärmeproduktion via en motor där producerad el säljs ut på nätet och där motorns kylvatten räcker för uppvärmning av 3–4 bostadshus på gården. Även i detta fall kan det ses som att lantbrukaren via att bygga en biogasanläggning utvecklar sin befintliga produktionsinriktning, genom att använda gårdens resurser på ett effektivare sätt. I detta fall kommer intäkterna från försäljning av producerad elektricitet att påtagligt påverka gårdens ekonomi.
3. I typanläggningarna 3a–3c produceras biogas huvudsakligen via rötning av energigröda, där producerad biogas säljs till en extern marknad där det till 100 % finns avsättning för gasen. Driften av biogasanläggningen antas ske

vid optimala förhållanden, vilket leder till en hög gasproduktion i förhållande till röt-kammarvolymen. I detta fall kan det ses som att lantbrukaren påtagligt förändrar driftsinriktning på gårdens mot bioenergiproduktion, där driften av en biogasanläggning kommer få en central roll i gårdens verksamhet. Eventuellt kan anläggningen ägas tillsammans av flera lantbrukare. Anläggningen samrötar energigröda med gödsel och ett vegetabiliskt avfall. Det ekonomiska utfallet för tre olika energigrödor studeras liksom två olika strategier för utformning av biogasanläggning.

I tabell 2 sammanställs några ungefärliga nyckeltal för att relatera vilka lokala gårdsförutsättningar som behövs för de olika alternativen samt vilken bruttoproduktion av biogas som erhålls, om de beskrivna råvarorna i tabellen rötas.

*Tabell 2. Nyckeltal för att beskriva lokala gårdsförutsättningarna för de olika biogasalternativen. Med "m. k." i tabellen menas mjölkkor och med "s. p." menas antalet slaktsvinsplatser i stallet. Använda nyckeltal för beräkning av antal djur och odlingsareal finns redovisade i bilaga 2.*

	Enhet	Typanläggningar				
		1 <sup>x)</sup>	2 <sup>x)</sup>	3a	3b	3c
Gödsel <sup>a)</sup>	ton/dygn	2	12	30	15	15
Djurantal	st	40 m.k	2700 s.p.	700 m.k	250 m.k	250 m.k
Energigröda	ton/dygn	–	–	8	11	3
				(vall)	(majs)	(vete)
Energigröda	ha	–	–	130	100	200
Avfall	ton/dygn	–	–	5	5	5
Biogas	m <sup>3</sup> olja/år <sup>b)</sup>	12	68	680	660	640

a) Inkluderar både den fast- och flytgödsel som behövs i de olika alternativen. Det rötas enbart fastgödsel i typanläggning 3a

b) Bruttoproduktion av biogas uttryckt i vad den motsvarar i olja. Observera att delar av denna bruttoproduktion åtgår för att värma röttningsprocessen. Vid rötning av enbart gödsel är denna andel väsentligt större än då energigrödor rötas

I typanläggning 1 antas att den gödsel som rötas, produceras vid en mjölkbesättning som har flytgödselhantering. För produktion av den gödselmängd som krävs måste det minst finnas 40 mjölkkor.

I typanläggning 2 antas att den gödsel som rötas, produceras från en slaktsvinsbesättning som har flytgödselhantering. För produktion av den gödselmängd som krävs måste det minst finnas 2700 stallplatser.

I typanläggningarna 3a–3c antas att det, beroende på viken energigröda som rötas samt hur mycket gödsel som rötas, behöver odlas mellan 100 och 200 ha energigröda. Den gödsel som rötas antas produceras från nötkreatur. Gödselmängden som rötas motsvarar för typanläggning 3b och 3c produktionen från en besättning på ca 250 mjölkkor (anläggningen antas enbart röta flytgödsel) och anläggning 3a produktionen från ca 700 mjölkkor (denna anläggning antas kunna röta både flyt- och fastgödsel).

De klimatbetingelser som råder för gårdarna antas motsvara Nyköping i Mälardalen, där medeltemperaturen under den kallaste månaden (januari) är strax under -3 °C, se bilaga 1 för månadsmedeltemperaturer för området.

## Kriterier för dimensionering

De tre olika skalorna bygger på följande antaganden.

**Typanläggning 1:** Det föreligger ett oljebehov för uppvärmning av bostadshus och driftbyggnader motsvarande 58 MWh (inkluderar tappvattenuppvärmning). Vidare antas att biogasen ska klara av uppvärmningsbehovet ner till en utomhustemperatur på 0 °C, vid lägre temperaturer antas det finnas andra uppvärmningssystem som kan användas tillsammans med biogasen för att klara uppvärmningsbehovet. Dessa två kriterier har varit dimensionerade för hur mycket gödsel som måste rötas. Rötningen av gödsel sker i en enstegs totalomblandad rötningssprocess som drivs vid ca 37 °C (dvs. inom det mesofila temperaturområdet). Dimensionerande för att beräkna anläggningens rötkammarvolym, är en specifik gasproduktion på 1,1 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> aktiv volym och dag (med aktiv volym menas rötkammarens fyllnadsgrad där nedbrytningsprocessen pågår). Producerad biogas används för uppvärmning.

**Typanläggning 2:** Det föreligger ett oljebehov för uppvärmning av bostadshus och driftbyggnader motsvarande 134 MWh (inkluderar tappvattenuppvärmning). Producerad biogas ska användas för kraftvärmeproduktion via en motor där producerad el säljs ut på nätet och där motorns kylvatten används för att klara av uppvärmningsbehovet ner till en utomhustemperatur på 0 °C. Vid lägre utomhustemperaturer antas det finnas andra uppvärmningssystem som kan användas tillsammans med kylvattnet från motorn för att klara uppvärmningsbehovet. Dessa kriterier har varit dimensionerade för hur mycket gödsel som måste rötas. Rötningen av gödsel sker i en enstegs totalomblandad rötningssprocess som drivs vid ca 37 °C. Dimensionerande för att beräkna anläggningens rötkammarvolym, är en specifik gasproduktion på 1,1 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> aktiv volym och dag.

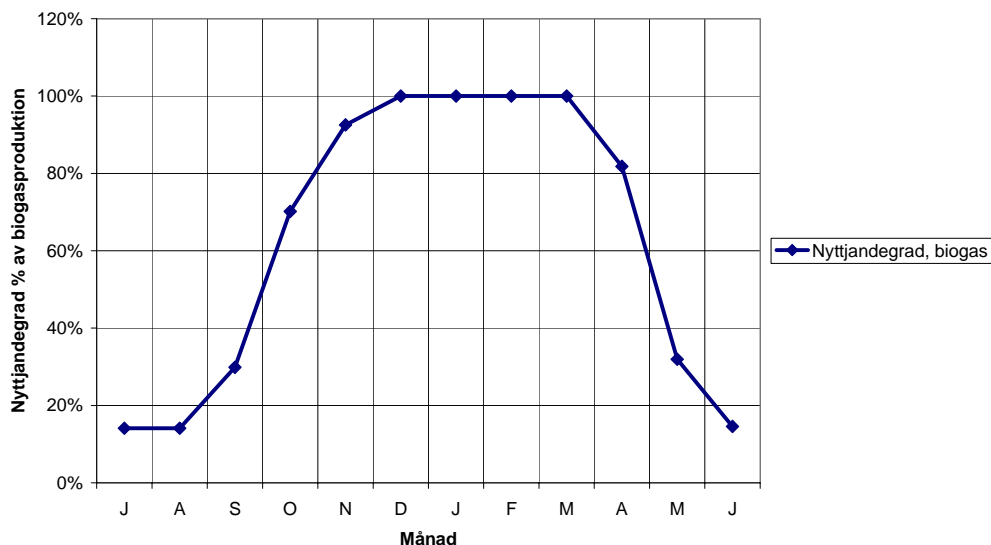
**Typanläggningar 3a–3c:** Biogasproduktionen är 5700 MWh/år från första rötkammaren (därtill tillkommer biogasproduktion från ett efterrötningsssteg vars storlek varierar något beroende på vilken energigröda som rötas). Denna gasproduktion erhålls via samrötning mellan energigröda, gödsel och vegetabiliskt avfall, som ej behöver hygieniseras, i en enstegs totalomblandad rötningssprocess som drivs vid ca 37 °C temperatur, vars drift har optimerats för att få mycket hög specifik gasproduktion per rötkammarvolym. För att uppnå denna höga specifika gasproduktion krävs en lång uppehållstid för substratet som pumpas in i rötkammaren och i detta alternativ har det antagits att den ej får understiga 26 dygn. För att omblandningen i rötkammaren ska fungera tillfredsställande antas att torrsubstanshalten på slammet i rötkammaren ej får överstiga 7 %. I detta alternativ jämförs det ekonomiska utfallet av att röta tre energigrödor vilka antas utgöras av vallensilage, majsensilage alternativt spannmål. Vidare belyses konsekvenserna av ett efterrötningsssteg. Hela produktionen av biogas säljs till extern marknad.

## Gårdens behov av värme vid typanläggning 1 och 2

Dimensionerande för dessa kalkyler har varit att helt försörja typgårdarna med värme vid utomhustemperaturer ner till 0 °C. Blir det kallare behövs en kompletterande värmekälla.

I detta kapitel redovisas övergripande beräkningarna för hur mycket gödsel som behöver rötas i typanläggning 1 och 2. För typanläggning 1 kommer, som ett årsmedelvärde, 62 % av nettoproduktionen av värme att kunna nyttjas för upp-

värmning (efter att rötchammarens processvärmebehov räknats bort). Resterande 38 % värme blir ett överskott som det ej finns avsättning för inom gården, se bild 1. Under 3,5 månader per år kommer biogasen inte att räcka till för uppvärmning, men under denna period kommer det att kopplas in andra uppvärmningssystem (spetsvärme) för gårdens värmeförsörjning. För typanläggning 2 kommer på samma sätt 62 % av nettoproduktionen av värme från kraftvärmeanläggningen att kunna nyttjas för uppvärmning av byggnader inom gården och resten saknas det avsättning för. En mer ingående redovisning av resultatet av dessa värmebehovskalkyler finns redovisade i bilaga 1.



*Bild 1. Månadsvis nyttjandegrad angiven som procent av nettoproducerad biogas för typanläggning 1, där 2,2 ton/d flytgödsel från nötkreatur rötas. Även för typanläggning 2 blir den procentuella nyttjandegraden av den månadsvisa nettoproduktionen av värme från kraftvärmeanläggningen lika som nyttjandegraden av biogas för typanläggning 1.*

## Typanläggning 1

I typanläggning 1 beräknas det att gårdens driftbyggnader tillsammans med ett bostadshus totalt använder 5,9 m<sup>3</sup> eldningsolja per år vilket motsvarar 58 MWh/år. Av denna energimängd antas 13 MWh vara jämnt fördelat över året i form av uppvärmning av tappvarmvatten. Resterande energimängd används för uppvärmning av bostaden och driftbyggnader. Med detta som underlag kommer behovet av olja för uppvärmning inklusive tappvarmvatten att variera mellan 1100 kWh/månad (sommarperiod) och 8700 kWh/månad (januari). För mer information se bilaga 1. Energibehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten, vid en utomhustemperatur på 0 °C, är 243 kWh olja/dygn, vilket motsvarar en bränsleeffekt på 10 kW.

För att värma upp gödseln till rötnings temperatur och kompensera för rötchammarens värmeförluster har det beräknats att ca 25 % av bruttoproduktionen av biogas används som processvärme. Detta medför att det behövs en bruttoproduktion på 13,3 kW biogas för att erhålla en nettoproduktion av biogas på 10 kW. Utgående från detta behöver biogasanläggningens bruttoproduktion av metan vara 33 m<sup>3</sup> per dygn. För att uppnå den ovan angivna gasproduktionen måste anläggningen minst klara av att röta 2,2 ton flytgödsel per dag, se tabell 2 och 5. Bruttoproduktionen av biogas blir 117 MWh/år om anläggningen dagligen rötar denna gödselmängd året runt och nettoproduktionen 88 MWh/år, se tabell 3.

Tabell 3. Uppvärmningsbehov och biogasproduktion för lantbruk med gårdsbaserad biogasproduktion enligt förutsättningar för typanläggning 1.

	Energi		
	Brutto	Netto	
Gaseffekt	13,3	10,0	kW
Årlig biogasproduktion	116,7	87,6	MWh/år
Biogas för uppvärmning av rötchammare	29,1	26,2 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmningsbehov på gården	58 <sup>a)</sup>	52 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmning via gaspanna	54,5 <sup>a)</sup>	49,0 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmning via spetsvärme	3,5 <sup>a)</sup>	3,1 <sup>b)</sup>	MWh/år
Överskott, ingen avsättning	33,1 <sup>a)</sup>	39,8 <sup>b)</sup>	MWh/år

a) Energimängd i form av olja (O E), b) Energimängd i form av värme

Av nettoöverskottet av biogas kommer 54,5 MWh/år att kunna nyttjas för uppvärmning. Behovet av spetsvärme blir 3,5 MWh/år och överskottsproduktionen av biogas 33,1 MWh/år.

## Typanläggning 2

I typanläggning 2 antas det att gårdens driftbyggnader tillsammans med bostadshus totalt använder 13,6 m<sup>3</sup> eldningsolja per år vilket motsvarar 135 MWh/år. Av denna energimängd antas 29 MWh vara jämnt fördelat över året i form av uppvärmning av tappvarmvatten. Resterande energimängd används för uppvärmning av bostäder och byggnader. Med detta som underlag kommer behovet av olja för uppvärmning inklusive tappvarmvatten att variera mellan 2450 kWh/månad (sommarperiod) och 17900 kWh/månad (januari). För mer information se bilaga 1. Energibehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten, vid en utomhustemperatur på 0 °C, är 567 kWh olja/dygn, vilket motsvarar en bränseffekt på 23,6 kW. Vidare antas att den oljepanna som ersätts har en verkningsgrad på 90 %, vilket gör att värmeeffekten vid denna utomhustemperatur blir 21,2 kW.

I detta fall används biogasen för att producera kraftvärme. Motorns elverkningsgrad antas vara 30 % och värmeverkningsgrad 50 % av tillfört bränsle. För att värma upp gödseln till rötningstemperatur och kompensera för rötchammarens värmeförluster har det beräknats att det åtgår 0,22 kWh värme per kWh producerad biogas. Med detta som utgångspunkt behöver biogasanläggningens produktion av metan vara 189 m<sup>3</sup> per dygn. För att uppnå den ovan angivna gasproduktionen måste anläggningen minst klara av att röta 11,7 ton flytgödsel per dag, se tabell 2 och 5. Bruttoproduktionen av biogas blir 667 MWh/år om anläggningen dagligen rötar denna gödselmängd året runt (det antas 5 dagars gasproduktionsbortfall per år). Vid kraftvärmeproduktionen blir bruttoproduktionen av elektricitet 200 MWh/år och värme 334 MWh/år. Efter att behovet av energi för att driva anläggningen räknats bort, blir nettoproduktionen av elektricitet 184 MWh/år och värme 187 MWh/år, se tabell 4.

Tabell 4. Uppvärmningsbehov och biogasproduktion för lantbruk med gårdsbaserad biogasproduktion enligt förutsättningar för typanläggning 2.

	Energj		
	Brutto	Netto	
Gaseffekt	77		kW
Årlig gasproduktion	667		MWh/år
Årlig värmeproduktion från motor	334	187	MWh/år
Årlig elproduktion från motor	200	184	MWh/år
Uppvärmningsbehov av rötchammare	166 <sup>a)</sup>	150 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmningsbehov på gården	135 <sup>a)</sup>	122 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmning via kylvatten från motor	127 <sup>a)</sup>	115 <sup>b)</sup>	MWh/år
Uppvärmning via spetsvärme	8 <sup>a)</sup>	7 <sup>b)</sup>	MWh/år
Överskott, ingen avsättning	78 <sup>a)</sup>	70 <sup>b)</sup>	MWh/år

a) Energimängd i form av olja (O E), b) Energimängd i form av värme

Av nettoöverskottet av värme kommer motsvarande 127 MWh(O E)/år att kunna nyttjas för uppvärmning. Behovet av spetsvärme blir 8 MWh/år och överskottsproduktionen av biogas 78 MWh/år.

## Systembeskrivning av typanläggningar

I detta kapitel görs en övergripande beskrivning av de driftförutsättningar som antas råda för varje typanläggning och som utgör underlag för de ekonomiska kalkylerna.

### Sammansättning på substrat och gasproduktion

Förutsättningarna för de tre anläggningsalternativen är olika både vad gäller skala och substrat som rötas. Det rötas gödsel i alla alternativen, i typanläggning 3 samrötas gödseln med energigröda och vegetabiliskt avfall. I tabell 5 redovisas antagna förutsättningar för de olika biogassubstraten.

Tabell 5. Den kemiska sammansättningen för de råvaror som rötas i typanläggningarna 1–3.

	Avfall	Energigröda			Gödsel			
		Vall	Majs	Vete	Flytgödsel, nötkreatur	Flytgödsel, slaktsvin	Fastgödsel, nötkreatur	
Torrsubstans (TS)	15%	35%	30%	86%	9%	8%	18%	av våtvikt
Organiskt innehåll (VS)	93%	90%	95%	98%	82%	81%	86%	av TS
Totalkväve (TKN)	2%	3%	1,1%	1,7%	4%	6,3%	3%	av TS
Varav ammoniumkväve	0%	0%	0%	0%	46%	65%	43%	av TKN
Fosfor	0%	0%	0,2%	0,4%	1%	2,3%	1%	av TS
Kalium	2%	3%	1,1%	0,5%	4%	3,7%	3%	av TS
Specifik metanproduktion	430	300	350	400	200	250	185	liter/kg VS
Metanproduktion	60	95	100	337	14,8	16,2	28,6	nm <sup>3</sup> /ton våtvikt
Biogasens metanhalt	59%	55%	51%	54%	61%	64%	57%	av biogas

## Massflöden i typanläggningar

I tabell 6 redovisas massflödena för de olika typanläggningarna vad gäller rötade substrat, interna processvätskeflöden i anläggningen samt produktion av rötrest och biogas.

Tabell 6. Massflöden i de studerade anläggningsalternativen (jämför med tabell 2).

	Typanläggningar: Massflöden (ton/år)				
	1	2	3a <sup>1)</sup>	3b <sup>2)</sup>	3c <sup>3)</sup>
Energigröda	0	0	2763	3862	1142
Flytgödsel	803	4260	7687	5355	5355
Fastgödsel	0	0	3135	0	0
Avfall	0	0	1931	1931	1931
<b>Summa in</b>	<b>803</b>	<b>4260</b>	<b>15516</b>	<b>11147</b>	<b>8428</b>
Recirkulerat	0	0	5409	0	0
Flytande rötrest	780	4135	11038	9747	7111
Fast rötrest	0	0	3209	0	0
Biogas <sup>4)</sup>	23	125	1269	1400	1317
<b>Summa ut</b>	<b>803</b>	<b>4260</b>	<b>15516</b>	<b>11147</b>	<b>8428</b>

1) Energigrödan utgörs av vallensilage

2) Energigrödan utgörs av ensilerad fodermajs

3) Energigrödan utgörs av vete (endast kärnor)

4) Biogasens massflöde beräknas genom att multiplicera den årliga volymproducerade gasmängden med biogasens densitet

## Processenergi och arbete för drift

I tabell 7 redovisas typanläggningarnas behov av processenergi. Behovet av processvärme har beräknats utgående från:

- den mängd substrat som ska värmas upp
- de värmeförluster som föreligger genom röt-kammarens väggar
- evaporativa värmeförluster (värmebehov att bilda den vattenångan som finns i biogasen).

Kalkylerna visar bl.a. på att värmebehovet blir betydligt lägre för typanläggning 3c än för 3a beroende på att mängden substrat som ska värmas upp är väsentligt mindre. En annan bidragande faktor är att torrsubstanshalten på substratblandningen är högre för 3c än för 3a och att det går åt ca 3 ggr mer energi att värma upp 1 kg vatten än 1 kg torrsubstans. Vidare är röt-kammaren i typanläggning 3c mindre än 3a, vilket leder till lägre värmeförluster genom reaktorväggarna (under förutsättning att de har samma isoleringstjocklek i reaktorväggarna). Kalkylerna visar även att uppvärmningen av substraten utgör det största bidraget till anläggningens totala värmebehov och ligger i intervallet 74–85 % av det totala värmebehovet för de studerade typanläggningarna. Det har antagits att enbart huvudröt-kammaren värms för att kompensera för värmeförluster genom väggarna medan efterröt-kammaren som finns för typanläggningarna 3a–3c alltså inte värms. Detta

leder till att temperaturen i efterrötkammaren kommer att vara några grader lägre än temperaturen i huvudrötkammaren.

Behovet av processelektricitet finns redovisat i tabell 7 och bygger på egna bedömningar baserat på uppgifter från *Ergebnisse* (2005), Nordberg & Edström (1997) samt från Nordberg m.fl. (1997). Generellt kan sägas att största bidraget till elbehovet är den energi som går åt för att blanda om rötkammaren för dessa typanläggningar. Elbehovet för denna omblandning är beroende av:

- utformningen av rötkammaren
- rötkammarinnehållets reologiska egenskaper (ett mått som beskriver hur trögflytande det är).

Slammets egenskaper är i sin tur beroende på mängden fibrer, fiberlängd och även dess ts-halt (slammets viskositet är även beroende av dess temperatur, men i dessa typfall har samma rötningstemperatur antagits) och om det finns partiklar i slammet med väsentligt högre/mindre densitet som ska hindras att bilda svämtäcke på ytan i rötkammaren alternativt bilda sediment på botten. Substrat som innehåller en hög andel fibrer som vallgröda och halmrik fastgödsel kommer att kräva mer elektricitet för omblandning än fiberfattiga substrat som majsensilage och mald spannmål. Att minska fibrernas längd via energikrävande sönderdelning leder dock till att energiinsatsen för omblandning minskar och kan mycket väl leda till att anläggningens totala behov av processelektricitet minskar (Nordberg & Edström, 1997).

Det uppskattade arbetsbehovet för att driva de olika typanläggningarna redovisas i tabell 7 och dessa uppgifter används i de ekonomiska kalkylerna för respektive typanläggning. Dessa värden bygger på schablonvärden för arbetsinsats för drift av tyska gårdsbiogasanläggningar (ofta samrötning mellan gödsel, energigrödor och ibland organiskt avfall) som redovisas i Eder & Schulz (2006) samt *Ergebnisse* (2005) där arbetsbehovet anges till 800–900 h/år. I dessa schabloner anges att ca 40 % av arbetstiden åtgår för att hantera biogassubstrat och 20 % för dokumentation och övervakning av rötningens prestanda. Resterande tid var jämt fördelat på reparationer, allmän tillsyn av biogasproducerande delar av anläggningen, allmän tillsyn av kraftvärmeproducerande delar av anläggningen samt allmän planering.

Tabell 7. Behov av processenergi och personal för drift av anläggningar.

		Typanläggningar				
		1	2	3a	3b	3c
Processelektricitet	kWh el/kWh biogas	0,03	0,025	0,035	0,03	0,02
Processvärme	% av gasproduktion	25	22 <sup>a)</sup>	8,4	7,5	5,8
Arbetstid	timmar/år	100	200	900	800	600

a) Eftersom biogasen används till kraftvärmeproduktion i detta fall, anges processvärmebehovet i detta fall som kWh värme/kWh biogas.

## Utformning av biogasanläggningar

För alla typanläggningar sker rötningen i enstegs totalomblandade röt-kammare som drivs i det mesofila temperaturområdet. Nedan beskrivs anläggningsutformningen i schematiska bilder, se bild 2–6.

Typanläggning 1 och 2 har enbart en röt-kammare dit gödsel kontinuerligt pumpas i samma takt som den produceras.

Typanläggning 3a–3c har en huvudröt-kammare och alla de olika substrat som ska rötas tillförs kontinuerligt till denna. Utgående flöde från huvudröt-kammaren tillförs efterröt-kammaren. Det är vanligt förekommande att tyska gårdsanläggningar förses med ett efterröttningssteg. Syftet med efterrötningen är att höja gasutbytet från substraten vilket också leder till mindre metanläckage vid lagring av röt-resten. Anledningen till att enbart anläggningarna 3a–3c antas vara försedda med efterrötning är att den volymetriska gasproduktionen (med detta menas kvoten mellan den dagliga gasproduktionen dividerat med röt-kammarens aktiva volym) är betydligt större för dessa typanläggningar än för anläggningarna 1 och 2, se tabell 8 och 9. Detta medför att gasproduktionen för det rötade materialet, som lämnar huvudröt-kammaren har hög potential att producera biogas under en kortare period, utan att nytt substrat tillförs.

### Huvudröt-kammare

I tabell 8 redovisas de viktigaste röttningsprocessrelaterade parametrarna som används för att dimensionera anläggning och karakterisera massflöden. Parametrarna har använts vid de ekonomiska kalkylerna för systemet kring huvudröt-kammaren.

Tabell 8. Använda processrelaterade parametrar för huvudröt-kammaren som använts vid de ekonomiska kalkylerna.

		Typanläggningar				
		1	2	3a <sup>x)</sup>	3b	3c
Total volym	m <sup>3</sup>	55	300	1530	1110	1110
Aktiv volym	m <sup>3</sup>	49	270	1380	1000	1000
TS-in	% av våtvikt	9	8	16 <sup>z)</sup>	17	21
TS-ut	% av våtvikt	6	5	7	5	6
HRT <sup>w)</sup>	dagar	23	24	26	37	51
Belastning	kg VS/m <sup>3</sup> & dag	3,3	2,8	4,4	4,8	4,5
NH <sub>4</sub> -N/TKN	% av TKN	51%	70%	50%	50%	50%
Ammonium-kväve	g/liter slam	1,9	3,6	2,7	1,9	2,8
Gasproduktion	m <sup>3</sup> biogas/d			2790	2970	2850
Volymetrisk gasproduktion	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> aktiv röt-kammare & d	1,1	1,1	2,0	3,0	2,9
Metanhalt	% av biogas	61%	64%	57%	54%	56%

x) gäller huvudröt-kammaren

z) inkluderar en blandning av energigröda, gödsel och avfall men exkluderar recirkulerad processvätska

w) Den hydrauliska uppehållstiden (HRT) för de råvaror som rötas är baserat på kvoten mellan röt-kammarens aktiva volym och utgående slamflöde från röt-kammaren

## Efterrötning

I tabell 9 redovisas de viktigaste röttningsprocessrelaterade parametrarna som används för att dimensionera anläggning och karakterisera massflöden. Parametrarna har använts vid de ekonomiska kalkylerna för systemet kring efterrötkammaren.

Det finns en betydande osäkerhet i storleken på gasutbytet från efterrötkammaren som redovisas i tabell 9. Dessa data bygger dels på uppgifter från Ergebnisse (2005) som anger att gasutbytet från efterröttningssteg i 6 st biogasanläggningar var mellan 4 och 32 % av den gasproduktion som huvudrötkammaren gav. Nordberg och Edström (1997) anger, att vid rötning av huvudsakligen vallgröda i en högbelastad röttningsprocess så kunde gasproduktionen ökas med 22 % om det slam som lämnat rötkammaren efterrötades under 10 dagar. Den bedömning som görs i detta projekt är att en efterrötning på slam för typanläggning 3a genererar mer gas än vad en efterrötning gör för typanläggning 3b och 3c. Detta bygger dels på att vallgrödan och en halmrik fastgödsel är mer svårömsättbart än spannmål och majs, dels att uppehållstiden i huvudrötkammaren också är kortare för typanläggning 3a än för 3b och 3c.

Tabell 9. Använda processrelaterade parametrar för efterrötkammaren som använts vid de ekonomiska kalkylerna.

		Typanläggningar				
		1 <sup>x)</sup>	2 <sup>x)</sup>	3a	3b	3c
Total volym	m <sup>3</sup>	–	–	760	560	560
Aktiv volym	m <sup>3</sup>	–	–	690	500	500
TS-ut	% av våtvikt	–	–	6	3	4
HRT <sup>w)</sup>	dagar	–	–	13	18	25
NH <sub>4</sub> -N/TKN	% av TKN	–	–	52%	52%	52%
Ammoniumkväve	g/liter slam	–	–	2,8	2,0	3,0
Gasproduktion	m <sup>3</sup> biogas/d	–	–	560	440	340
Volymetrisk gasproduktion	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> aktiv rötkammare & d	–	–	0,8	0,9	0,7

x) ingen efterrötning då enbart gödsel rötas

## Typanläggning 1

För att röta 2,2 ton flytgödsel från nötkreatur per dag behövs en aktiv röt-kammarvolym på 49 m<sup>3</sup> och en totalvolym på ca 55 m<sup>3</sup> om den gasvolym där den producerade biogasen samlas upp utgör 10 % av totalvolymen, se bild 2. Producerad gödsel pumpas minst 1 gång per dag från stallets pumpbrunn in i rötkammaren. Gödselns uppehållstid i rötkammaren är drygt 20 dagar. Producerad biogas går via ett mindre membranlager placerad i en container till en panna där all producerad gas förbränns. I pannrummet finns en ackumulatortank för att lagra varmvatten. Vidare är en luftkylare kopplad till varmvattensystemet för att kunna kyla bort överskottvärme.

Befintliga flytgödsellager används för att lagra den rötade gödseln.

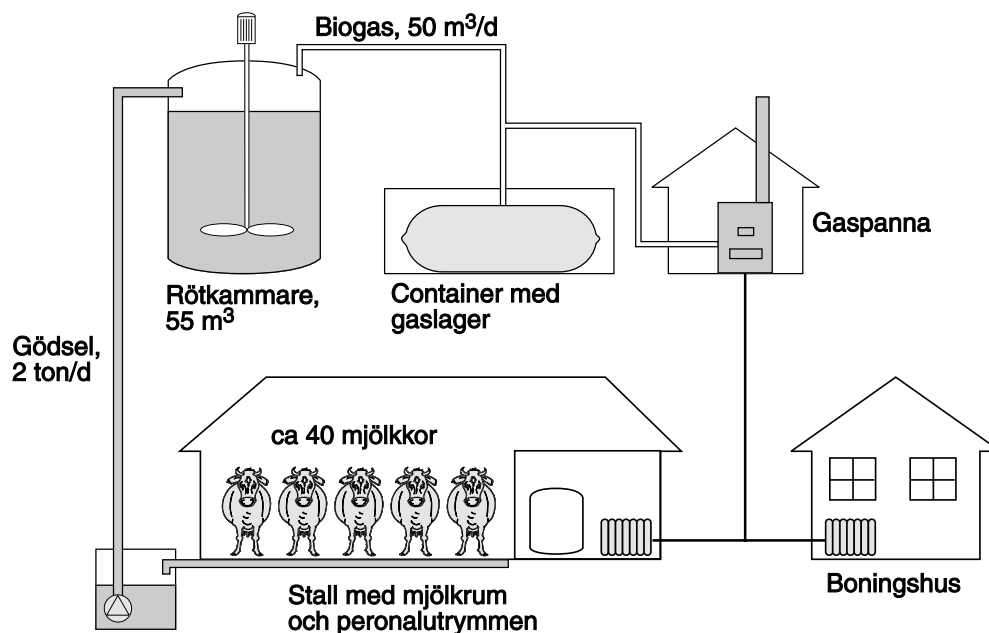


Bild 2. Typanläggning 1: Liten anläggning enbart för värmeproduktion.

### Typanläggning 2

För att röta 11,7 ton flytgödsel från slaktsvin behövs en aktiv rötkammarvolym på  $270 \text{ m}^3$  och en totalvolym på ca  $300 \text{ m}^3$  om den gasvolym där den producerade biogasen samlas upp utgör 10 % av totalvolymen, se bild 3. Producerad gödsel pumpas minst 1 gång per dag från stallets pumpbrunn in i rötkammaren. Gödselns uppehållstid i rötkammaren är drygt 20 dagar. Rötkammaren är försedd med ett dubbelmembrantak för att kunna lagra några timmars gasproduktion. Biogasen används för att producera kraftvärme med en förbränningsmotor. I motorrummet finns en ackumulatortank för att lagra varmvatten. Vidare är en luftkylare kopplad till varmvattensystemet för att kunna kyla bort överskottvärme.

Befintliga flytgödsellager används för att lagra den rötade gödseln.

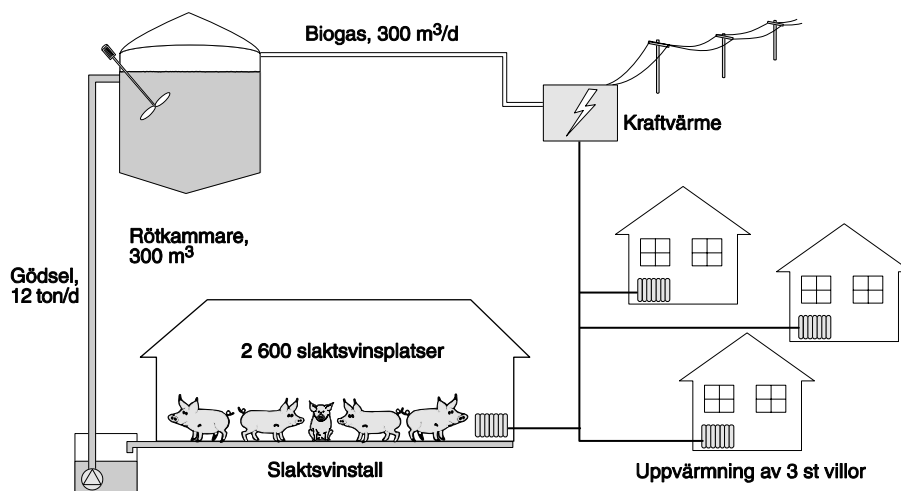


Bild 3. Typanläggning 2: Anläggning i "mellanskala", kraftvärmeproduktion.

### Typanläggning 3a

I detta alternativ samrötas vallgröda tillsammans med flyt- och fastgödsel samt avfall. Ett kriterium för detta alternativ är att gödseln bidrar med 50 % av den mängd torrs substans som rötas. Eftersom gödselns torrs substans här är mindre tillgänglig för nedbrytning än den vallgröda och det avfall som den samrötas med kommer gödselns bidrag till totala gasproduktionen att bli ca 35 %. Vallensilaget bidrar med 45 % av gasproduktionen och avfallet med 20 %. Dagligen rötas drygt 42 ton substrat och dessutom recirkuleras ca 15 ton processvätska som erhålls efter avvattningen av producerad rötrest från efterrötkammaren. Syftet med denna återförsl av processvätska är att späda ingående substrat så att ts-halten i rötkammaren ej blir för hög. Fiberrika substrat i kombination med hög ts-halt försvårar omblandningen av huvudrötkammaren.

Vid skörd antas att vallgrödan exakthackas varpå den ensileras. Vid rötning tillförs vallgrödan med en doseringsvagn som är försedd med vågceller och bottenmonterade skruvar som används för att bryta sönder ensilageblock. Doseringvagnen antas rymma 3 dagars behov av vallgröda. Från denna vagn skruvas vallgrödan in i huvudrötkammaren (en teknik som är vanligt förekommande i tyska biogasanläggningar som rötter ensilerad energigröda). Vid inmatningstillfällena ökas omblandningsintensiteten i rötkammaren för att effektivt blanda ut den tillförda vallgrödan i hela rötkammarvolymen.

Flytgödsel tillförs till en mindre lagertank. Från denna lagertank pumpas gödseln in i rötkammaren.

Fastgödseln och det vegetabiliska avfallet tillförs en mindre blandningsbehållare som är försedd med en skärande pump och omblandare vars syfte är att sönderdela större partiklar i dessa två fraktioner för att göra dem pumpbara. För att sänka ts-halten och möjliggöra pumpning tillförs blandningsbehållaren även en processvätska som erhålls då slam från rötkammaren avvattnats (det är vätskefasen efter avvattningen som återförs). Då sönderdelningen är klar kan denna slurry antingen pumpas in i rötkammaren eller pumpas till lagertanken.

Huvudrötkammaren har en aktiv rötkammarvolym på 1380 m<sup>3</sup> och en totalvolym på ca 1550m<sup>3</sup>, se bild 4. Substratens uppehållstid i rötkammaren är ca 26 dagar. Rötkammaren är försedd med en långsamroterande propelleromrörare som är i kontinuerlig drift för att säkerställa att rötkammaren är totalomblandad. Dessutom är rötkammaren försedd med dränkta snabbroterande propelleromrörare som startas i samband med att nytt substrat tillförs. Huvudrötkammaren är också försedd med ett dubbelmembrantak för att kunna lagra några timmars gasproduktion. Biogasens användning har ej definierats i detta alternativ. Gasproduktionen från dessa anläggningar antas kunna säljas för extern användning och att det finns avsättning för all den gas som produceras.

Befintliga flytgödsellager används för att lagra den rötade gödseln men dessa räcker ej till för att lagra hela produktionen av rötrest. Därför kommer man att bygga extra lagringskapacitet för flytande rötrest på 1900 m<sup>3</sup>. Dessutom kommer efterrötkammaren att tömmas helt under hösten så att dess volym också kan nyttjas för lagring av flytande rötrest. Befintliga plattor för lagring av den fastgödsel som rötas kommer istället att användas för lagring av den fasta rötresten (ifall den fasta rötresten inte läggs i stuka på eller i anslutning till fältet där den ska spridas).

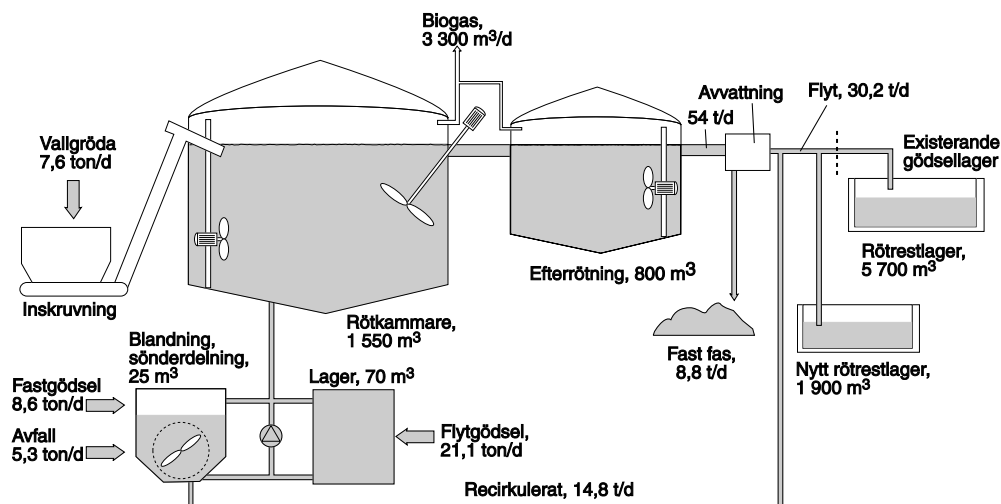


Bild 4. Schematisk utformning av anläggning enligt typanläggning 3 a. I bilden anges dagliga flöden in och ut från rötkammare. Det ska noteras att dessa flöden är veckomedel och att det kan förekomma variationer under veckan.

### Typanläggning 3b

I detta alternativ samrötas majsensilage tillsammans med flytgödsel och avfall. Gödseln bidrar med 25 % av den mängd torrs substans som rötas men bara 14 % av gasproduktionen. Majsensilaget bidrar med 66 % av gasproduktionen och avfallet med 20 %. Dagligen rötas drygt 30 ton substrat.

Vid skörd antas att majsensilage exakthackas varefter den ensileras. Hanteringen av majsensilaget i biogasanläggningen sker på samma sätt som vallgrödan hanteras i typanläggning 3a.

Flytgödseln och det vegetabiliska avfallet tillförs en mindre blandningsbehållare som är försedd med en skärande pump och omblandare vars syfte är att sönderdela större partiklar i dessa två fraktioner för att göra dem pumpbara. För att sänka ts-halten och möjliggöra pumpning kan blandningsbehållaren även tillföras slam från huvudrötkammaren. Då sönderdelningen är klar kan denna slurry antingen pumpas in i rötkammaren eller pumpas till lagertanken.

Huvudrötkammaren har en aktiv rötkammarvolym på  $1000 \text{ m}^3$  och en totalvolym på ca  $1150 \text{ m}^3$ , se bild 5. Substratens uppehållstid i rötkammaren är ca 37 dagar. Rötkammaren är försedd med en långsamrotterande propelleromrörare som är i kontinuerlig drift för att säkerställa att rötkammaren är totalomblandad. Dessutom är rötkammaren försedd med dränkta snabbrotterande propelleromrörare som startas i samband med att nytt substrat tillförs. Huvudrötkammaren är också försedd med ett dubbelmembrantak för att kunna lagra några timmars gasproduktion. Biogasens användning har ej definierats i detta alternativ. Gasproduktionen från dessa anläggningar antas kunna säljas för extern användning och att det finns avsättning för all den gas som produceras.

Befintliga flytgödsellager används för att lagra den rötade gödseln men dessa räcker ej till för att lagra hela produktionen av rötre. Därför kommer man att bygga extra lagringskapacitet för flytande rötre på  $2900 \text{ m}^3$ . Dessutom kommer efterrötkammaren att tömmas helt under hösten så att dess volym också kan nyttjas för lagring av flytande rötre.

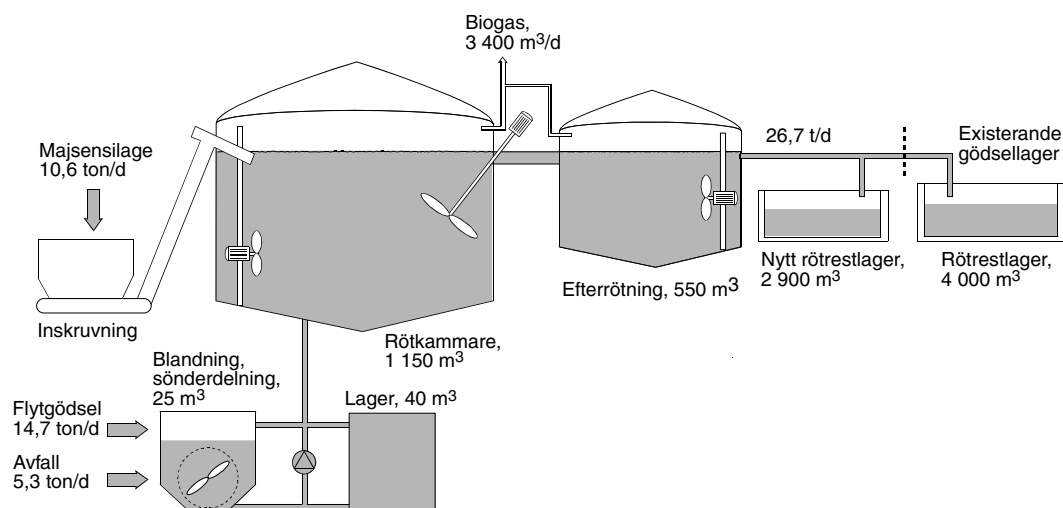


Bild 5. Schematisk utformning av anläggning enligt typanläggning 3 b. I bilden anges dagliga flöden in och ut från rötkammare. Det ska noteras att dessa flöden är veckomedel och att det kan förekomma variationer under veckan.

### Typanläggning 3c

I detta alternativ samrötas spannmål (i dessa kalkyler antas det att spannmålen utgörs av varmluftstorkad spannmål, men det går lika bra att röta spannmål som konserverats med andra metoder som exempelvis lufttät lagring) tillsammans med flytgödsel och avfall. I detta alternativ bidrar gödseln med 27 % av den mängd torrsubstans som rötas men bara 14 % av gasproduktionen. Spannmålen bidrar med 66 % av gasproduktionen och avfallet med 20 %. Dagligen rötas drygt 23 ton substrat.

Spannmålskärnorna antas sönderdelas med en hammarkvarn. Därefter blandas den malda spannmålen i en blandningstank med slam från rötkammaren innan det pumpas in i huvudrötkammaren.

Flytgödseln och det vegetabiliska avfallet tillförs en mindre blandningsbehållare som är försedd med en skärande pump och omblandare vars syfte är att sönderdela större partiklar i dessa två fraktioner för att göra dem pumpbara. För att sänka ts-halten och möjliggöra pumpning kan blandningsbehållaren även tillföras slam från huvudrötkammaren. Då sönderdelningen är klar kan denna slurry antingen pumpas in i rötkammaren eller pumpas till lagertanken.

Huvudrötkammaren har en aktiv rötkammarvolym på  $1000 \text{ m}^3$  och en totalvolym på ca  $1150 \text{ m}^3$ , se bild 6. Substratens uppehållstid i rötkammaren är ca 37 dagar. Rötkammaren är försedd med en långsamtroterande propelleromrörare som är i kontinuerlig drift för att säkerställa att rötkammaren är totalomblandad. Huvudrötkammaren är även försedd med ett dubbelmembrantak för att kunna lagra några timmars gasproduktion. Biogasens användning har ej definierats i detta alternativ. Gasproduktionen från dessa anläggningar antas kunna säljas för extern användning och att det finns avsättning för all den gas som produceras.

Anläggningen antas vara lokaliserad i anslutning till en torkanläggning (ägd av lantbrukare) där det finns befintlig infrastruktur som kan användas (tippgrop och liten silo för att klara ca 1–2 veckors drift).

Befintliga flytgödsellager används för att lagra den rötade gödseln. Dessa räcker dock ej till för att lagra hela produktionen av rötrest. Man kommer därför att bygga extra lagringskapacitet för flytande rötrest på ca 900 m<sup>3</sup>. Dessutom kommer efterrötkammaren att tömmas helt under hösten så att dess volym också kan nyttjas för lagring av flytande rötrest.

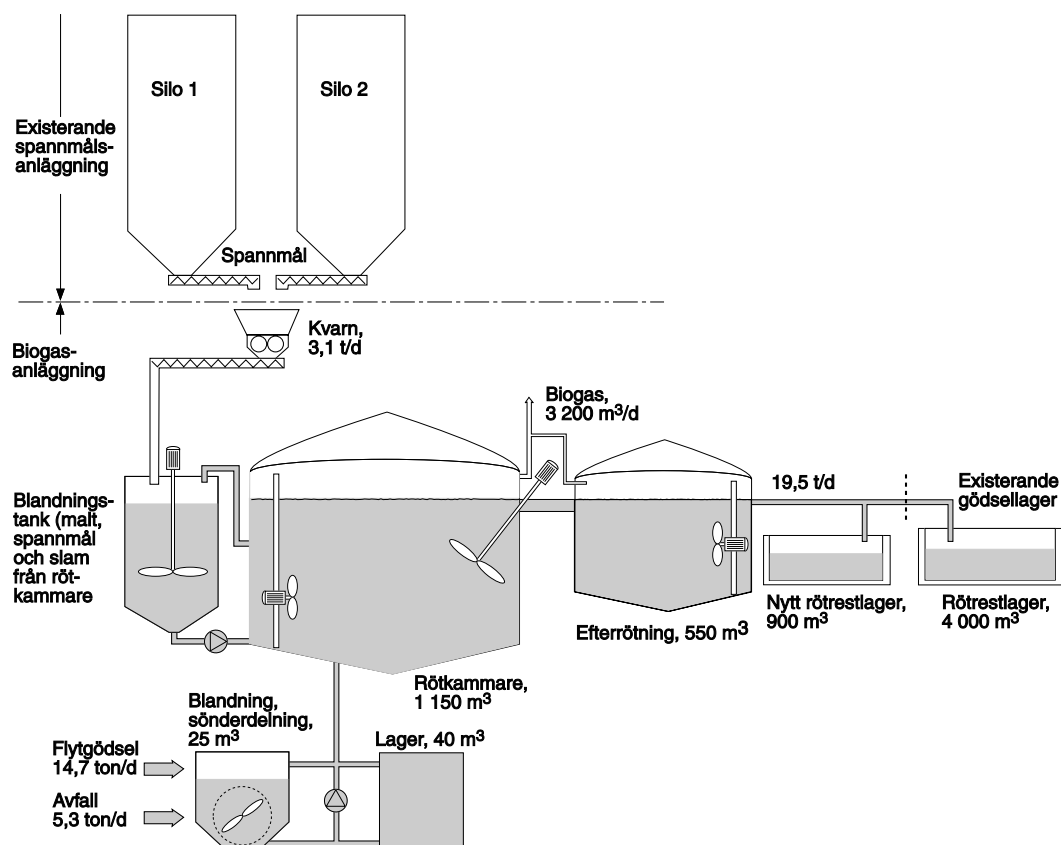


Bild 6. Schematisk utformning av anläggning enligt typanläggning 3 c. I bilden anges dagliga flöden in och ut från röt-kammare. Det ska noteras att dessa flöden är veckomedel och att det kan förekomma variationer under veckan.

## Produktion av rötrest och dess växtnäringsinnehåll

### Produktion av rötrest

I tabell 10 redovisas den beräknade totala produktionen av fast och flytande rötrest för respektive typanläggning. Den totala produktionen av rötrest beräknas via massbalanser genom att massan för den rötade mängden råvara minskas med den producerade massan biogas för respektive typanläggning. Vid de ekonomiska kalkylerna används dock de förändrade mängderna av fast och flytande organiskt gödselmedel för respektive typanläggning som också redovisas i tabell 10. Med förändrad mängd organiskt gödselmedel menas differensen mellan totala rötrestproduktionen och den mängd gödsel som rötas. Denna differens innebär både en lagrings- och spridningsmerkostnad jämfört med de kostnader som lantbrukarna hade för gödseln innan biogasanläggningen byggdes.

Tabell 10. Totala mängden rötrest som genereras samt den förändrade mängden organiska gödselmedel som hanteras vid de olika typanläggningarna, se bilaga 3.

	Typanläggningar (ton/år)				
	1	2	3a	3b	3c
Total flytande rötrest	780	4 135	11 038	9 747	7 111
Total fast rötrest	0	0	3 209	0	0
Förändring, flytande	-23	-125	3 351	4 393	1 756
Förändring, fast	0	0	73	0	0

### Växtnäringsflöde genom röt-kammare

I tabell 11 redovisas mängden växtnäring som kommer in till respektive typanläggning via de substrat som rötas. Mängden växtnäring som kommer via den gödsel som rötas redovisas i tabell 12. Differensen mellan dessa två tabeller ger växtnäringsbidraget från de energigrödor tillsammans med det organiska avfall som rötas.

Tabell 11. Beräknade mängden växtnäring i de substratblandningar som rötas för de olika typanläggningarna. Detta är även mängden växtnäring som lämnar rötningen eftersom det antas att växtnäringsförlusterna är försumbara vid rötningen.

	Typanläggningar (ton/år)				
	1	2	3a	3b	3c
Kväve (total)	2,92	21,61	77,76	36,85	40,81
Fosfor	0,55	7,91	14,79	7,22	8,20
Kalium	2,92	12,61	78,28	38,64	30,07

Tabell 12. Fast- och flytgödselns bidrag av växtnäring för de olika typanläggningarna.

	Typanläggningar (ton/år)				
	1	2	3a	3b	3c
Kväve (total)	2,92	21,61	44,32	19,47	19,47
Fosfor	0,55	7,91	10,34	3,66	3,66
Kalium	2,92	12,61	43,19	19,47	19,47

### Rötrestens innehåll av växtnäring

I tabell 13 redovisas det beräknade innehållet av växtnäring i den flytande och fasta rötresten som produceras vid biogasanläggningarna. Det ska observeras att inga kväveförluster inkluderas i dessa kalkyler, eftersom de uppkommer i efterföljande lagring av rötresten. Indata till dessa kalkyler finns redovisade i bilaga 3.

Tabell 13. Växtnäringsinnehåll i rötrest som generas. Kväveinnehållet anges dels som totala mängden samt hur stor del av totala mängden som utgörs av ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ).

	Typanläggningar (kg/ton rötrest)					
	1	2	3a		3b	3c
	Flyt	Flyt	Flyt	Fast	Flyt	Flyt
Totalkväve	3,75	5,23	4,88	7,51	3,78	5,74
Andelen $\text{NH}_4\text{-N}$	1,92	3,64	2,85	2,85	1,97	2,98
Fosfor	0,70	1,91	0,80	1,84	0,74	1,15
Kalium	3,75	3,05	5,49	5,49	3,96	4,23

### Rötrestens växtnäringsnytta

I tabell 14 redovisas den beräknade mängden växtnäring i form av mineralgödsel som rötresten ersätter. I denna kalkyl räknas växtnäringseffekten av örötad fast- och flytgödsel bort från rötrestens växtnäringseffekt. Vidare inkluderas kväveförluster som uppkommer under lagring och spridning av både av fast och flytande gödsel och rötrest. I beräkningsförutsättningarna antas att gödselns mineraliseringsgrad (kvoten mellan ammoniumkväve och totala kvävemängden) ökar med 5–7 procentenheter om den rötas. Det högre värdet gäller om anläggningen har ett efterrötningssteg, se bilaga 3.

Tabell 14. Växtnäringsnyttan med rötningen för de olika typanläggningarna. Växtnäringsnyttan motsvarar mängden mineralgödsel som rötresten ersätter, se bilaga 3.

		Typanläggningar				
		1	2	3a	3b	3c
Kväve (nitrat)	ton/år	0,13	0,99	19,88	10,33	12,44
Fosfor	ton/år	0,00	0,00	4,46	3,56	4,53
Kalium	ton/år	0,00	0,00	15,09	8,24	4,56

### Utsläpp av klimatgaser och energiutbyte vid användning av biogas

För att kunna beskriva anläggningens emissioner av klimatgaser måste jämförelse göras med ett alternativ till att framställa samma mängd el, värme och drivmedel. Förutsättningar för dessa kalkyler redovisas i bilaga 5.

I tabell 15 redovisas förändringen i utsläpp av klimatgaser för de studerade alternativen utgående från egna beräkningar. Alla de studerade systemen redovisar en minskning av klimatgaser (ett minusvärde i tabellen motsvarar en minskning). Det ska dock noteras att dessa beräkningar bygger på ett antal osäkra antaganden både vad det gäller hur stora metanutsläppen är vid lagring av gödsel samt för rötad gödsel. Dessa beräkningsförutsättningar redovisas i bilaga 5. Bidragen till reduktionen delas upp i tre delar:

- **Rötrest och gödsel.** I detta inkluderas 1) metanutsläpp vid lagring av rötad gödsel jämfört med icke rötad gödsel, 2) minskade utsläpp vid produktion av nitratkväve i handelsgödsel motsvarande den mängd som ersätts då rötresten används som gödselmedel (i tabell 14 kvantifieras denna mängd kväve).

- **Odling av energigröda.** I detta inkluderas 1) diesel, eldningsolja och el som lantbrukarna använder för odling och lagring av energigröda, 2) energiinsats för de produktionshjälpmedel som lantbrukarna använder vid odling av energigröda (största bidraget är nitratkväve i handelsgödseln), 3) utsläpp av lustgas vid produktion av nitratkväve som används vid odlingen, 4) utsläpp av lustgas från åkermark vid odling av energigröda.
- **Biogasproduktion.** I detta inkluderas 1) minskade utsläpp av klimatgaser då biogasen ersätter andra energislag, vilket utgörs av bensin vid drivmedelsanvändning, olja vid uppvärmning och kol vid elproduktion (se tabell 16), 2) utsläpp av klimatgaser som uppkommer vid drift av biogasanläggning och transport av rötrest samt råvaror för rötning (energigröda, gödsel och avfall).

Tabell 15. Förändring av klimatgasutsläpp för de olika alternativen.

	Typanläggningar (ton CO <sub>2</sub> -ekvivalenter/år)				
	1	2	3a	3b	3c
Rötrest och gödsel	-19	-111	-386	-209	-230
Odling av energigröda	0	0	214	328	537
Biogasproduktion	-13	-175	-1375	-1333	-1328
<b>Summa</b>	<b>-32</b>	<b>-286</b>	<b>-1547</b>	<b>-1214</b>	<b>-1021</b>

I tabell 16 redovisas gasproduktionen för de olika alternativen samt vad gasen ersätter för energibärare. Typanläggning 3a–3c förutsätter att det finns avsättning för hela nettogasproduktionen, efter att röttningsanläggningens processvärmebehov tillgodosätts med biogas, på drivmedelsmarknaden. För typanläggning 1 och 2 antas att, det som årsmedelvärde, finns avsättning för 62 % av nettoproduktionen av värme.

Störst reduktion av klimatgaser i relation till den sålda energin (som i de studerade alternativen varierar mellan drivmedel, värme och elektricitet) erhålls vid gödselrötning, se tabell 16. I detta fall påverkas resultatet mycket av de minskade metanutsläppen då gödsel rötas (jämför tabell 15).

Tabell 16. Produktion av total mängd biogas för de olika alternativen och hur mycket värme, elektricitet och drivmedel som det finns avsättning för i de olika alternativen.

	Enhet	Typanläggningar				
		1	2	3a	3b	3c
Total gasproduktion	MWh/år	117	667	6840	6550	6380
Såld värme	MWh/år	49	115	–	–	–
Såld el	MWh/år	–	184 <sup>a)</sup>	–	–	–
Sålt drivmedel	MWh/år	–	–	6180	5980	5930
<i>Reduktion av klimatgaser</i>	<i>ton CO<sub>2</sub>-ekv/MWh</i>	<i>0,65</i>	<i>0,91</i>	<i>0,25</i>	<i>0,20</i>	<i>0,17</i>

a) därtill används 17 MWh el i anläggningen

## Ekonomi

I detta kapitel genomförs en ekonomisk analys för de 5 olika alternativen utifrån de tidigare redovisade förutsättningarna. Vidare görs en känslighetsanalys då faktorer som får hög påverkan på produktionskostnaden för biogas varieras.

### Tyska förutsättningar

Tyska biogasföreningen anger att det år 2006 fanns ca 3 500 gårdsanläggningar i Tyskland som tillsammans producerar mer än 5 TWh el per år (Horbelt, pers. medd., 2006). Det färdigställs ett stort antal nya anläggningar varje månad. Den växande biogasmarknaden i Tyskland har gjort att det finns ett större antal företag som levererar kompletta gårdsanläggningar.

De anläggningar som byggdes före år 2004 hade i högre grad gödsel som huvudsubstrat för rötning, vilket i sin tur har begränsat storleken på dessa gårdsbaserade biogasanläggningar. Trots att dessa anläggningar är mindre, blir inte den specifika investeringen väsentligt högre än de energigrödebaserade anläggningarna, se tabell 17. Detta beror troligtvis på att det finns befintlig infrastruktur på gården som kan användas som gödselpumpar och gödsellager samt att dessa anläggningar har mindre teknisk utrustning för att hantera de substrat som ska rötas.

*Tabell 17. Några nyckeltal för 11 st mindre tyska gårdsanläggningar med aktiv röt-kammarvolym (a.v.) mellan 280 och 540 m<sup>3</sup> samt 10 st i mellanstora med aktiv röt-kammarvolym mellan 800 och 2800 m<sup>3</sup> (Ergebnisse, 2005). Anläggningarna använder producerad biogas till kraftvärmeproduktion. Rötningstekniken är traditionell våtrötning (enstegs totalomblandad).*

	Mindre anläggningar		Mellanstora anläggningar		
	Medel	Min–Max	Medel	Min–Max	
Rötkammare	420	283–540	1400	800–2800	m <sup>3</sup> a.v.
Specifik investering	380	240–660	390	220–650	euro/m <sup>3</sup> a.v.
Specifik investering	3300	2400–5190	2790	1380–3520	euro/kW el
Byggnad	46	37–75	42	33–54	% av tot. investering
Teknik	47	21–61	52	43–63	% av tot. investering
Motor	7	3–18	6	3–10	% av tot. investering
Årlig kapitalkostnad	10,3	8,6–12,3	10,4	9,3–12,0	% av investering
Årlig underhålls-kostnad	2,0	0,1–4,7	2,6	1,2–4,5	% av investering
Produktionskostnad, el	0,104	0,078–0,155	0,097	0,075–0,143	euro/kWh el
Produktionskostnad, rågas <sup>a)</sup>	0,029	0,022–0,039	0,030	0,016–0,056	euro/kWh biogas

a) JTI-kalkyl som baserar sig på att de kostnader som kommer från kraftvärmeproduktionen räknats bort

De gårdsanläggningar som byggs idag i Tyskland är av betydande storlek. Volymen på röt-kammaren brukar vara i storleksordningen 2 000–3 000 m<sup>3</sup> och el produceras från biogasen med en förbränningsmotor som har en eleffekt på ca 500 kW (Horbelt, pers. medd., 2006). Biogasen produceras huvudsakligen från majsensilage, delvis från helsädsensilage men förhållandevis sällan från vallgröda. För denna skala på gårdsanläggning behöver majs odlas på 200–250 ha. Dessutom tillförs även flytgödsel,

oftast i 1:1-förhållande, till majsensilaget dels för att förbättra röttningsprocessens stabilitet, dels för att späda ner röt-kammarens ts-halt. Den specifika investeringen för dessa anläggningar är ca 3 000 Euro/kW el (Röhling, 2008; Eder & Schulz, 2006; Meier, pers. medd., 2006; Bonse-Geuking, pers. medd., 2006).

Orsaken till att det har byggts så många nya biogasanläggningar i Tyskland, är att den tyska staten under en längre period har gett en garanterad högt pris på el producerat från biogas. Från och med år 2004 har det utgått en extra bonusersättning på el, om gasproduktionen kommer via rötning av energigrödor (EEG, 2004), vilket har styrt att utvecklingen mot rötning av energigrödor. Vidare finns en differentiering vad det gäller garanterat elpris beroende på biogasanläggningens skala, vilket har styrt utvecklingen till att den mest lönsamma storleken ej överstiger 500 kW installerad eleffekt.

## Svenska förutsättningar

I Sverige byggs det någon enstaka gårdsanläggning per år. De flesta av de befintliga anläggningarna finns uppförda på naturbruksgymnasier och är specialdesignade för deras behov som demonstration av olika tekniklösningar och utbildning av elever. Detta gör att svenska uppgifter för investeringen för att uppföra anläggningen, men även kostnaderna att driva dem är väsentligt högre vid naturbruksgymnasierna och ej lämpar sig för benchmarking mot svenska lantbruksföretag. Vidare gör vi bedömningen att det påtagligt går att minska kostnaderna för projektering, tillståndsansökningar och ingenjörsarbete i Sverige om det börjar byggas ett större antal anläggningar i Sverige.

Det finns idag bara två småskaliga gårdsbaserade biogasanläggningar på lantbruksföretag i Sverige och för dessa anges den specifika investeringsnivån till ca 380 Euro/m<sup>3</sup> aktiv volym för en anläggning som byggts i egen regi men som ej inkluderar arbetskostnaden (Jordbruksaktuellt, 2006) samt ca 480 Euro/m<sup>3</sup> aktiv volym för en turnkey-anläggning levererad av ett tyskt företag (Edström m.fl., 2005). I dessa specifika investeringar inkluderades inte en kraftvärmeproduktionsenhet.

## Investerings- och kapitalkostnader

Om det i Sverige börjar byggas ett betydande antal gårdsbaserade biogasanläggningar per år, tror vi att den tyska investeringsnivån som idag råder också kommer att gälla för svenska anläggningar. Vi tror även att det kommer att gå att bygga mindre gårdsanläggningar för gödselrötning till ungefär samma nivå som investeringen var i Tyskland för dessa mindre anläggningar för ca 5 år sedan, dock justerat för inflationen.

Investeringsbehovet för de olika typanläggningarna har huvudsakligen kalkylerats utgående från Eder och Schulz (2006) samt Ergebnisse (2005) och resultatet finns redovisade i tabell 18. För typanläggningarna 3a–3c bygger dessa kalkyler helt på uppgifter från tyska gårdsbiogasanläggningar. Investeringen inkluderar enbart:

- 1) byggnation av röt-kammaren och installation av röt-kammaromrörare
- 2) blandningstank och skärande pump för sönderdelning av fastgödsel och avfall för typanläggningarna 3a–3c

- 3) pump för transport av gödsel samt inmatningssystem för energigröda in i röt-kammare
- 4) rörledningar för gödsel, rötrest och 200 meters varmvattenkulvert
- 5) ett membrangaslager som också fungerar som tak för röt-kammaren (som kan lagra några timmars gasproduktion)
- 6) vattenburet uppvärmningssystem för röt-kammaren, rötrestlager med täckning för den ökade mängden flytande gödselmedel (som ska hanteras i jämförelse mot mängden flytgödsel som hanterades innan anläggningen byggdes)
- 7) el och styr.

Investeringen inkluderar ej motor för att producera kraftvärme, byggnation av pannrum, eller gasledning för att transportera biogas från biogasanläggning till extern förbrukare. Investeringen inkluderar ej heller att befintliga flytgödsellager förses med membrantäckning.

Det föreligger en större osäkerhet i den kalkylerade investeringen för typanläggning 1 och 2 än för de övriga. Begagnade komponenter antas kunna användas framför allt för typanläggning 1. Vidare antas att markarbeten genomförs av lantbrukaren och att detta inte belastar investeringskalkylen. Det förutsätts också att det finns gödselpump i stallets pumpgrop som används för beskickning av röt-kammaren. De befintliga flytgödsellagren används för att lagra rötresten och de förses ej med membrantäckning.

Tabell 18. Använda investeringar som använts vid de ekonomiska kalkylerna.

		Typanläggningar				
		1 <sup>z)</sup>	2	3a	3b	3c
Total investering	Mkr	0,45	0,94	7,5	6,6	5,4
Specifik investering	kr/m <sup>3</sup> <sup>x)</sup>	9 100	3 500	3 600	4 400	3 600
Fermentor exklusive tak	av investering	18% <sup>z)</sup>	31%	29%	24%	30%
Membrantak, fermentor	”-	— <sup>z)</sup>	13%	7%	6%	7%
Pumpar, omrörare, system för inmatning	”-	26%	20%	26%	27%	27%
Gassystem exkl. elproduktion	”-	29%	15%	3%	3%	4%
Rötrestlager inkl täckning <sup>w)</sup>	”-	0%	0%	14%	19%	9%
Markarbeten	”-	0%	0%	17%	18%	19%
Övrigt	”-	27%	22%	3%	3%	3%

x) total investering utslagen på aktiv röt-kammarvolym. Observera att för typanläggningar 3a–3c inkluderas även efterröt-kammaren i den aktiva volymen

z) röt-kammaren antas utgöras av en begagnad ståltank som byggs om till röt-kammare

w) Investeringssuppgift för betongbehållare; Lindvall, pers. medd., 2007 och för täckning av behållare; Pettersson, pers. medd., 2003.

## Årliga kostnader

I de ekonomiska kalkylerna redovisas det antagna priset för energigröda i tabell 19 och värderingen av rötresten i tabell 20. Vidare har följande nivåer på kostnader och intäkter använts.

- De årliga kapitalkostnaderna för biogasanläggningarna (exklusive del för kraftvärmeproduktion) sätts till 9 % av investeringen (avskrivning utgör 6 % medelkalyränta 3 % under perioden) vilket kan anses vara en normal nivå vid investeringar för jordbruksföretag (Jansson, pers. medd., 2008). Denna nivå kan jämföras för Tyska anläggningar där kapitalkostnaderna anges vara ca 10 % vilket också inkluderar kraftvärmeproduktionen, se tabell 18.
- Den årliga underhållskostnaden för teknikkomponenter har satts till 2,5 % av investeringsbeloppet.
- Kostnaden för elektricitet som används för att driva biogasanläggningen har antagits vara 65 öre/kWh.
- Anläggningarna använder biogas för uppvärmning till processtemperatur.
- Lönekostnaden för driftpersonal har i denna kalkyl satts till 240 kr/timme.
- Behandlingsintäkt för avfall som rötas antas vara 100 kr/ton.

## Pris på energigröda och värdering av rötrest

I tabell 19 redovisas de använda kostnaderna för de tre olika energigrödorna i de ekonomiska kalkylerna för typanläggningarna 3a–3c. I kapitlet ”Känslighetsanalys” redovisas hur ersättningsnivån för grödorna påverkar produktionskostnaden för biogas.

Tabell 19. Pris för energigrödor som antas rötas i typanläggningarna 3a–3c.

Kostnad för gröda		Typanläggningar		
		Vall 3a	Majs 3b	Vete 3c
Pris	kr/ton våtvikt	350	270	1400
Pris	kr/kg ts	1,00	0,90	1,63
Pris	kr/kWh biogas	0,378	0,276	0,424

I tabell 20 redovisas resultatet av hur rötresten värderas för de olika typanläggningarna. I värderingen inkluderas växtnäringsvärdet och hanteringskostnader (dock ej kapitalkostnader för lagring då dessa kostnader inkluderas i biogasanläggningens kapitalkostnader). Förutsättningarna för denna värdering finns redovisade i bilaga 4 och i kapitlet ”Känslighetsanalys” redovisas hur ersättningen för kväve, fosfor och kalium påverkar produktionskostnaden för biogas.

Tabell 20. Värdering av rötrest.

		Typanläggningar (kr/ton rötrest)					
		1	2	3a		3b	3c
				Flyt	Fast		
Växtnäringsvärde <sup>a)</sup>	kk/år	2	14	405	40	255	279
Transportkostnad <sup>b)</sup>	kk/år	0	0	0	53	0	0
Spridningskostnad <sup>a)</sup>	kk/år	-1	-4	98	1	128	51
Markpackningskostnad <sup>a)</sup>	kk/år	0	-1	25	0	33	13
<b>Resultat<sup>c)</sup></b>	<b>kk/år</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>282</b>	<b>-14</b>	<b>94</b>	<b>214</b>

a) Intäkter och kostnader i tabell utgörs av differensen mellan kostnader/intäkter för all hantering & användning av rötrest minus kostnader/intäkter som fanns för hantering & användning av gödsel innan biogasanläggning byggdes, för de olika typanläggningarna.

b) Den flytgödsel som rötas i de olika alternativen antas finnas tillgänglig vid biogasanläggningen varför ingen transportkostnad uppkommer. Däremot antas att den fastgödseln som rötas i typanläggning 3a i medel måste transporteras 4 km till biogasanläggningen och producerad fast rötrest transporteras tillbaka till gården som returtransport.

c) Detta "Resultat" används i tabell 21 för kostnadsposten "Rötrest & gödselhantering".

## Årliga kostnader

I tabell 21 redovisas de årliga kostnaderna för att driva de olika typanläggningarna. Förutsättningarna för driften av dessa beskrivs i huvudkapitlet "Beskrivning av typanläggningar".

Tabell 21. Årliga kostnader, (enhet i tabell: 1000 kr/år), som ska täckas av inkomst från biogas.

	Typanläggningar, kkr/år				
	1	2	3a	3b	3c
Kapital & underhåll	52	109	860	770	621
Energigröda	0	0	954	1 030	1 578
El	2	11	127	110	73
Arbete	24	48	216	192	144
Försäkring, elanslutn., analyser m.m.	7	24	80	77	72
Rötrest- & gödselhantering <sup>a)</sup>	-3	-19	-268	-94	-214
Avfall	0	0	-191	-191	-191
<b>Summa</b>	<b>82</b>	<b>174</b>	<b>1 779</b>	<b>1 895</b>	<b>2 083</b>

a) Kostnadsposten "Rötrest & gödselhantering" hämtas från tabell 20. Denna post inkluderar växtnäringsvärde och tillkommande hanteringskostnad. Med de beräkningsförutsättningar som valts, blir värdet större än kostnaderna varför denna kostnadspost får ett minustecken

## Produktionskostnad för biogas

I tabell 22 redovisas nettoproduktionskostnaden för rågasen. I denna kostnad antas det att det finns avsättning för hela nettoproduktionen av biogas. Tidigare i denna rapport har det beräknats att det bara finns avsättning för drygt 60 % av nettoproduktionen av biogas för typanläggning 1 och 60 % av värmeproduktionen från motorn i typanläggning 2. Detta medför att biogasen blir väsentligt dyrare för uppvärmning än vad som redovisas i tabell 22.

Det ska noteras att i produktionskostnaden inkluderas ej kostnader för kraftvärmeanläggning i typanläggning 2, ej heller gasledning från anläggningar 3a–3c till användare av gasen.

*Tabell 22. Produktionskostnad för biogas. Denna produktionskostnad är utslagen på nettoproduktionen, dvs. efter att biogas som används för uppvärmning av substrat till rötningstemperatur har dragits bort.*

	Typanläggningar				
	1	2	3a	3b	3c
Produktionskostnad, rågas kr/kWh	0,94	0,35	0,29 <sup>a)</sup>	0,31 <sup>a)</sup>	0,35 <sup>a)</sup>

a) I kalkylerna för typanläggning 3a–3c antas att vegetabiliskt avfall, som ger en behandlingsintäkt, samrötas med gödsel och energigröda. Om behandlingsintäkten bortfaller stiger produktionskostnaden för rågas med 3 öre/kWh. Om istället avfallet helt ersätts med energigröda, så att gasproduktionen är oförändrad, stiger produktionskostnaden för rågas med 8–10 öre/kWh.

Produktionskostnaden för rågas för typanläggning 1 blir väsentligt högre än övriga alternativ. Det är dock mycket stor osäkerhet i dessa kalkyler eftersom storleken på anläggning är betydligt mindre än vad som normalt finns på gårdar i Europa. Lokala förutsättningar kan kraftigt påverka denna kalkyl liksom hur lantbrukaren vill värdera egen arbetsinsats. Som jämförelse brukar kalkyler där en bostad värms med vedpanna ej inkludera en arbetskostnad för hanteringen av ved och skötsel av panna.

## Avsättning av biogas och dess värde

### Värmeproduktion

#### Typanläggning 1

För typanläggning 1 antas att 62 % av nettoproduktionen av biogas kan användas för uppvärmning (se kapitel ”Beräkning av gårdens behov av värme för typanläggning 1 och 2”) vilket motsvarar 54,5 MWh/år. Detta gör att kostnaden för den använda biogasens som bränsle för uppvärmning blir 151 öre/kWh.

#### Jämförelse mot andra bränslen

Kostnaden för uppvärmning på en gård beror på om det är bostäder som ska värmas eller om det är driftsbyggnader, val av uppvärmningssystem och hur skattesystemet påverkar bränslepriset. Som lantbrukare kan momsens dras på de bränslen som används inom lantbruksföretaget, dessutom får lantbruksföretag skattereduktion på energi- och koldioxidbeskattningen för olja och diesel. Priset för några valda bränslen redovisas i tabell 23.

Tabell 23. Ungefärliga bränslepriser under februari 2008 (Källor: [www.spi.se](http://www.spi.se), [www.agroenergi.se](http://www.agroenergi.se), [www.shell.se](http://www.shell.se) och Skatteverket).

	Olja	Pellets	Bensin	Diesel	Enhet
Bränslepris, privatperson	1,17	0,51	1,35	1,18	kr/kWh
Bränslepris, lantbrukare	0,63	0,41	–	0,72	kr/kWh

För att få en mer rättvis jämförelse mellan olika bränslen bör också skillnader i kapital och driftskostnader, pannverkningsgrad och skatteeffekter beaktas (antas vara 47 kr per 100 kr disponibel inkomst för en privatperson) och resultatet från en sådan kalkyl redovisas i tabell 24. Det ska noteras att det antagits att det inte finns någon existerande uppvärmningssystem och vidare jämförs bara skillnaden i kapital och driftskostnader mellan uppvärmning med biogas som bränsle mot de alternativa bränslena olja och pellets.

Tabell 24. Beräknat ekvivalent biogaspris (inkluderar moms för privatperson) med och utan skatteeffekter på disponibel inkomst. I kalkylen antas att en gaspannas verkningsgrad är 90 %. Med "Ekvivalent biogaspris" menas det pris som kan betalas för biogas om uppvärmningskostnaden ska bli lika stor som för de jämförande bränslena som är olja och pellets. Skatteeffekten består dels av sociala avgifter/egenavgifter motsvarande 32 % på bruttolön, dels kommunalskatt på 30 % vilket tillsammans resulterar i att den totala skatteeffekten är 47 kr per 100 kr disponibel inkomst för en privatperson, under förutsättning att uttaget av bränsle uppfyller Inkomstskattelagens 22 kap 9§. (Källor till kalkyl: Södergren m. fl., 2002, Marmolin, 2004, [www.pelletsbranschen.se](http://www.pelletsbranschen.se), Skatteverket och tabell 23).

	Olja		Pellets		Enhet
	Privat	Lantbruk	Privat	Lantbruk	
Antagen merkostnad, pannanläggning i jämförelse mot biogas	0	0	0,1	0,1	kr/kWh
Antagen pannverkningsgrad	85	85	80	80	%
Ekvivalent biogaspris, (exklusive skatteeffekter)	1,24	0,63	0,69	0,57	kr/kWh
Ekvivalent biogaspris, (inklusive skatteeffekter)	2,34	0,63	1,30	0,57	kr/kWh

## Kraftvärmeproduktion

Producerad biogas från typanläggning 2 antas användas för kraftvärmeproduktion med en gasmotor. Denna motor antas vara utformad enligt följande:

- 30 % el-verkningsgrad.
- 50 % värmeverkningsgrad.
- Kraftvärmeenheten är försedd med en asynkron generator (eftersom den är så pass liten och enkel) vilket ger dåliga dellastegenskaper. Därför antas att anläggningen körs på full last och sedan stängs av så att gaslagret kan fyllas på.
- 26 kW installerad eleffekt (motorn överdimensioneras med 15 % enligt tyska riktlinjer).
- Produktionsbortfall vid rötningen på 5 dagar per år vilket ger en bruttogasproduktion till motorn på 667 MWh/år

- Motorn körs 8 000 timmar per år och att man under dessa 8 000 timmar kan använda all biogas som produceras.

Utgående från detta kommer den totala produktionen av elektricitet att vara 200 MWh/år och totala värmeproduktionen 334 MWh/år varav det finns avsättning för 115 MWh värme/år som kommer att ge en intäkt.

### Investering och årlig kostnad

Kraftvärmeanläggningens drift och kapitalkostnader beräknas utifrån följande kriterier:

- Investering på 485 000 kr inklusive installation, motorrum och anslutning till elätet (Lantz, 2008).
- Kapitalkostnad beräknas utgöra 15 % av investeringen (avskrivning utgör 12 % och medelränta 3 % under avskrivningsperioden avskrivning, detta ger en medelavskrivningstid för kraftvärmeproduktionen på drygt 8 år).
- Drift och underhållskostnaden är 0,2 kr/kWh el (Lantz, 2008).

Utgående från dessa förutsättningar blir de kostnaderna för att producera kraftvärme 120 000 kr/år för typanläggning 2, se tabell 25.

Tabell 25. Årliga kostnader för kraftvärmeproduktion vid typanläggning 2.

	kr/år
Kapitalkostnader	73 000
Drift & underhåll	41 000
Mätning & rapportering	6 000
<b>Summa kostnader</b>	<b>120 000</b>

### Intäkter från el och värme

Värderingen av producerad elektricitet och värme sker enligt följande kriterier:

- El som levereras ut på nätet: 0,4 kr/kWh (Nord Pool, vintern 2008)
- El för egen förbrukning: 0,55 kr/kWh
- Elcertifikat: 0,25 kr/kWh
- Nätnytta: 0,02 kr/kWh
- Nätavgift: 0,13 kr/kWh
- 50 % av produktionen förbrukas internt på gården och resten säljs ut på nätet
- Ersättning för värme: 0,6 kr/kWh (jämför med tabell 24 som motsvarar vad en lantbrukare kan betala för biogas för att uppvärmningskostnaderna ska vara lika som om olja används).

Utgående från dessa förutsättningar vad gäller energipriser blir de årliga intäkterna 231 000 kr, se tabell 26. Denna intäkt ska dels betala kostnaden för kraftvärmeproduktionen (se tabell 25), dels kostnaderna för gasproduktionen i typanläggning 2 (se tabell 21).

Tabell 26. Årliga intäkter för elproduktion vid typanläggning 2.

Intäkter	Pris kr/MWh	Energimängd MWh/år	Totalt kr/år
Elektricitet internt	550	100 <sup>a)</sup>	55 000
Elektricitet externt	400	100	40 000
Elcertifikat	250	200	50 000
Nätnytta	20	200	4 000
Nätavgift	130	100	13 000
Såld värme	600	115	69 000
Totalt intäkt, kraftvärme (kr/år)			231 000

a) biogasanläggningens behov av processelektricitet är 17 MWh/år, men kostnaden för denna el inkluderas i produktionskostnaden (till ett pris på 670 kr/MWh) varför hela elproduktionen genererar en intäkt.

Efter att kraftvärmeproduktionens kostnader räknat bort återstår 111 000 kr per år som ska betala produktionen av biogas. Då bruttoproduktionen av biogas till motorn är 667 MWh/år innebär detta att kraftvärmeanläggningen maximalt kan betala 17 öre/kWh biogas som används. Uttryckt i produktionskostnad för biogas från typanläggning 2 motsvarar detta 22 öre/kWh vilket är ca 13 öre lägre än vad som redovisas i tabell 22.

### Lokala gasnät

För att hitta en avsättning för biogasen utanför gårdens egen förbrukning, kan det vara en lösning att flytta gasen i ett lokalt gasnät. Kostnaden för detta belyses i ett exempel som beskrivs mer ingående i bilaga 6. I detta exempel dras ett lokalt gasnät vars längd är 1,6 mil. En stor och avgörande del av kostnaderna för ett lokalt gasnät är grävningen. I detta fall beräknas grävningen ske till större del i åkermark. Vidare antas några passager av hinder som vägar, vattendrag, el- och telekablar samt en mindre mängd sprängning. Investeringen i detta exempel skulle bli drygt 5 miljoner kronor (Jansson, pers. medd., 2008).

Vidare antas att åtta gårdar bildar en ekonomisk förening för att gemensamt bygga detta lokala biogasnät. Avsikten är att kunna leverera gasen från deras gårdsbaserade biogasanläggningar till en gemensam försäljningspunkt. Tillsammans antas de producera en netto energimängd på 4,5 GWh/år. Avskrivningstiden antas vara 25 år för denna gasledning, med en antagen ränta på 6 % (medelkalkyl) blir de årliga kapitalkostnaderna ca 350 kkr/år vilket motsvarar 7 % av investeringen, se bilaga 6. Därtill tillkommer årliga kostnader på drygt 180 kkr för underhåll, administration och el för att transportera gasen vilket gör att de årliga kostnaderna för det lokala gasnätet blir drygt 530 kkr (Jansson, pers. medd., 2008). I detta exempel skulle kostnaden för att transportera biogasen 1,6 mil bli 12 öre/kWh.

I kapitlet "Diskussion och slutsatser" finns ett resonemang och enkla kalkyler gällande förutsättningar för att leverera biogas till en drivmedelsmarknad.

## Bidragsnivå för att uppnå konkurrenskraftig produktion

Ett sätt för att uppnå en konkurrenskraftig produktion är att avlasta investeringskostnaden med ett investeringsstöd. Behovet av investeringsstöd varierar med bl.a. priset på såld eller alternativ energin.

I tabell 27 redovisas behovet av investeringsstöd beroende på ersättningsnivån för nettoproducerad rågas (och då årliga intäkterna balanserar de årliga kostnaderna).

Tabell 27. Behov av investeringsstöd vid olika priser för nettoproducerad rågas från typanläggningarna 1–3.

Energipris kr/kWh	Behov av investeringsstöd, %				
	Typanläggningar				
	1	2	3a	3b	3c
0,20	149	75	62	105	169
0,25	139	46	18	57	111
0,30	130	18	–	10	54
0,35	120	–	–	–	–
0,40	111	–	–	–	–

## Känslighetsanalys

### Ekonomiska konsekvenser för variation i indata i grundkalkyl

#### Förutsättningar för variation i indata i grundkalkyl

I känslighetsanalysen, som beskrivs nedan, har några nyckelfaktorer varierats. I känslighetsanalysen har den studerade parametern varierats i intervallet 70 % till 150 % kring det värde som använts då årliga kostnader (se tabell 21) och produktionskostnad för biogasen (se tabell 22) har beräknats. Följande parametrar varierar:

- **Förändrad investering.** De investeringskalkyler som redovisas baserar sig huvudsakligen på tyska litteraturuppgifter och avvikelserna mot faktiska investeringsnivåer kan vara betydande. En annan parameter är att det kan finnas möjligheter till att få investeringsbidrag.
- **Förändrad pris på energigröda.** För de anläggningsalternativ som rötar energigrödor utgör dessa den enskilt största kostnaden.. För spannmålen finns ett marknadspris vilket det inte finns för ensilerad vallgröda eller fodermajs (odlingen av majs i Sverige är mycket begränsad, men bedöms ha en stor utvecklingspotential med varmare klimat). Förutsättningarna varierar mycket mellan olika lantbruksföretag att bedriva växtodling och detta gör att traditionella odlingskalkyler i princip bara gäller för en gård. Under det senaste året har spannmålspriset ökat kraftigt, vilket också påverkar ersättningsnivåer för alternativa grödor till spannmål.
- **Förändrad behandlingsintäkt avfall.** I och med att antalet behandlingsanläggningar för organsikt avfall ökar kommer konkurrensen om attraktiva avfall att öka.
- **Förändring av röt-kammarbelastningen.** De valda belastningsnivåerna i denna studie har medvetet valts att vara höga framför allt för typanläggning 3a–3c där

energigröda rötas. För att stabilt klara av att driva anläggningen vid dessa belastningsnivåer ställs höga krav på övervakning och styrning av rötningsprocessen! Detta ställer krav på driftpersonalen men även på utformningen av anläggningen där det t.ex. ska vara möjligt att styra de olika substratflödena in i röt-kammaren med hög precision. I denna studie har det antagits att rötningen sker vid ca 37 °C (dvs. inom det mesofila temperaturområdet). Väljer man istället att förlägga rötningen vid ca 55 °C (dvs. inom det termofila temperaturområdet) kan belastningen höjas väsentligt. Samtidigt medför termofil drift att anläggningens uppvärmningskostnader stiger kraftigt. Finns billig värme att tillgå vid anläggningen (så är ofta fallet då biogasen används för kraftvärmeproduktion, där det för gårdsbaserade anläggningar finns ett begränsat värmeunderlag) kan termofil drift övervägas.

- **Förändrat värde på växtnäring i rötrest.** Priset på nitratkväve i handelsgödsel är starkt knutet till priset på naturgas. Det är troligt att framtida klimatmål kommer leda till ökad beskattning av fossila bränslen och detta i kombination med att tillgången på olja är lägre än efterfrågan, kan tillsammans leda till att naturgaspriset stiger kraftigt.
- **Produktionsstöd för elproduktion.** Ett produktionsstöd införs för biogas, vars storlek jämförs med olika ersättningsnivåer för gröna certifikat och nätnytta (detta produktionsstöd finns bara om biogas används för kraftvärmeproduktion): Vid beräkningen av produktionskostnaden för biogas (se tabell 22) inkluderas inget produktionsstöd vid positionen 100 % (på x-axeln) i bild 7–11. I dessa bilder redovisas hur hög produktionsstödet måste vara, i relation till gröna certifikat, för att motsvara 10, 30 respektive 50 % av biogasens produktionskostnad (se tabell 22).
- **Produktionsstöd för minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp.** Ett produktionsstöd införs på biogas som baserar sig på den minskade mängden klimatgaser som uppförandet av biogasanläggningen leder till. Detta produktionsstöd relateras till en kostnad per ton minskad koldioxidekvivalenta utsläpp. Vid beräkningen av produktionskostnaden för biogas (se tabell 22) inkluderas inget produktionsstöd vid positionen 100 % (på x-axeln) i bilder 7–11. I dessa bilder redovisas hur högt produktionsstödet måste vara, i relation till den reducerade mängden koldioxidekvivalenta utsläpp, för att motsvara 10, 30 respektive 50 % av biogasens produktionskostnad (se tabell 22).

I tabell 28 redovisas på nivåer för värdering av N, P och K i handelsgödsel under känslighetsanalysen som varierar från 70–150 % av referenskalkylens använda indata. Denna värdering gäller för alla studerade alternativ.

Tabell 28. Använda prisnivåer för handelsgödsel i känslighetsanalysen.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Växtnäring						
N	9,8	14,0	15,4	18,2	21,0	kr/kg
P	11,6	17,0	18,7	22,1	25,5	”-
K	4,2	6,0	6,6	7,8	9,0	”-

## Typanläggning 1

I bild 7 redovisas resultatet av känslighetsanalysen för typanläggning 1 där enbart nötgödsel rötas. Indata till denna kalkyl redovisas i absoluta belopp i tabell 29.

För att minska biogasens produktionskostnad med 10 % (motsvarar i detta fall 9 öre/kWh biogas) behövs ett produktionsstöd för biogasen motsvarande 257 kr/ton minskade CO<sub>2</sub>-ekvivalenta utsläpp, som driften av anläggningen leder till, se tabell 15 och bild 7.

Om det istället införs ett produktionsstöd som motsvarar en ersättningsnivå för gröna certifikat och nätnytta på 71 öre/kWh producerad el, skulle detta minska biogasens produktionskostnad med 30 % (motsvarar i detta fall 28 öre/kWh biogas), se bild 7. I denna kalkyl har en elverkningsgrad på 30 % använts.

Tabell 29. Indata till känslighetsanalys för typanläggning 1.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Investering	0,32	0,45	0,50	0,59	0,68	Mkr
Klimatgaser <sup>b)</sup>	771	0				kr/CO <sub>2</sub> -ekv
Gröna cert+nät <sup>b)</sup>	0,71	0				kr/kWh el
Belastning, rötchammare	2,3	3,3	3,6	4,3 <sup>a)</sup>	5,0 <sup>a)</sup>	kg VS/m <sup>3</sup> &d

a) Termofil drift trolig, antar dubbla processvärmebehovet

b) Gasproduktionen för gröna certifikat bygger på bruttobiogasproduktionen medan klimatgaserna bygger på nettoproduktionen

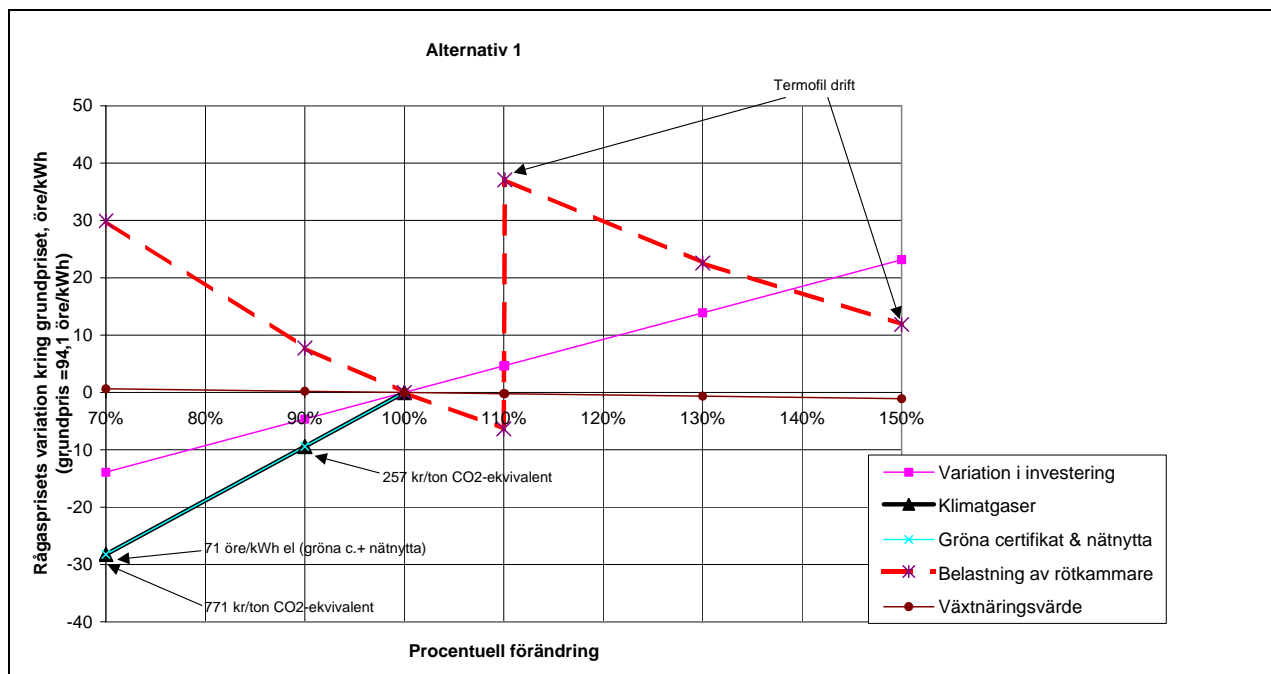


Bild 7. Känslighetsanalys för typanläggning 1.

## Typanläggning 2

I bild 8 redovisas resultatet av känslighetsanalysen för typanläggning 2 där enbart gödsel från svin rötas. Indata till denna kalkyl redovisas i absoluta belopp i tabell 30.

För att minska biogasens produktionskostnad med 10 % (motsvarar i detta fall 3,5 öre/kWh biogas) behövs ett produktionsstöd för biogasen som motsvarande 61 kr/ton minskade CO<sub>2</sub>-ekvivalenta utsläpp, som driften av anläggningen leder till, se tabell 15 och bild 8.

Om det istället införs ett produktionsstöd som motsvarar en ersättningsnivå för gröna certifikat och nätnytta på 26 öre/kWh producerad el, skulle detta minska biogasens produktionskostnad med 30 % (motsvarar i detta fall 10 öre/kWh biogas), se bild 8. I denna kalkyl har en elverkningsgrad på 30 % använts.

Tabell 30. Indata till känslighetsanalys för typanläggning 2.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Investering	0,67	0,95	1,05	1,24	1,42	Mkr
Klimatgaser <sup>b)</sup>	183	0				kr/CO <sub>2</sub> -ekv
Gröna cert+nät <sup>b)</sup>	0,26	0				kr/kWh el
Belastning, rötchammare	2,0	2,8	3,1	3,6 <sup>a)</sup>	4,2 <sup>a)</sup>	kg VS/m <sup>3</sup> &d

a) Termofil drift trolig, antar dubbla processvärmebehovet

b) Gasproduktionen för gröna certifikat bygger på bruttobiogasproduktionen medan klimatgaserna bygger på nettoproduktionen

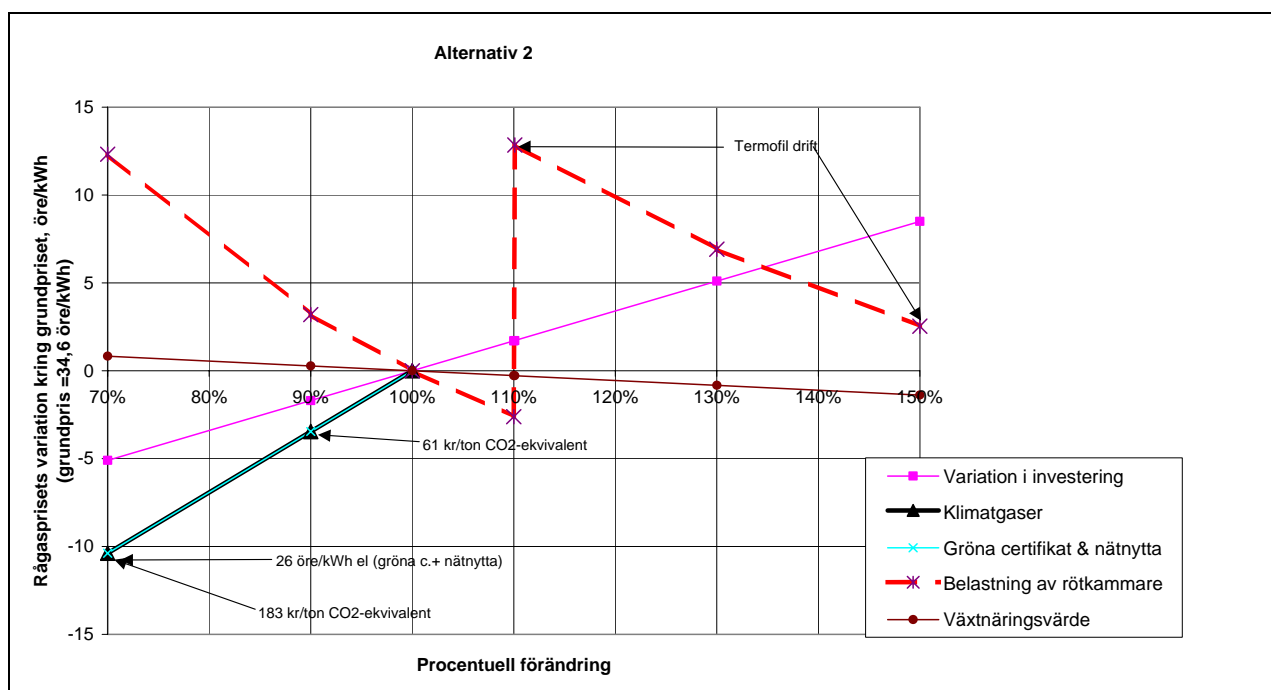


Bild 8. Känslighetsanalys för typanläggning 2.

### Typanläggning 3a

I bild 9 redovisas resultatet av känslighetsanalysen för typanläggning 3a som samrötter ensilerad vallgröda tillsammans med gödsel och avfall. Indata till denna kalkyl redovisas i absoluta belopp i tabell 31.

För att minska biogasens produktionskostnad med 10 % (motsvarar i detta fall 2,9 öre/kWh biogas) behövs ett produktionsstöd för biogasen som motsvarande 115 kr/ton minskade CO<sub>2</sub>-ekvivalenta utsläpp, som driften av anläggningen leder till, se tabell 15 och bild 9.

Om det istället införs ett produktionsstöd som motsvarar en ersättningsnivå för gröna certifikat och nätnytta på 23 öre/kWh producerad el, skulle detta minska biogasens produktionskostnad med 30 % (motsvarar i detta fall 9 öre/kWh biogas), se bild 9. I denna kalkyl har en elverkningsgrad på 35 % använts.

Tabell 31. Indata till känslighetsanalys för typanläggning 3a.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Vallgröda	245	350	385	355	525	kr/ton
Investering	5,24	7,48	8,22	9,72	11,22	Mkr
Klimatgaser <sup>b)</sup>	345	0				kr/CO <sub>2</sub> -ekv
Gröna cert.+nät <sup>b)</sup>	0,23	0				kr/kWh el
Behandlingsavgift	70	100	110	130	150	kr/ton
Belastning, rötchammare	3,0	4,4	4,8	5,7 <sup>a)</sup>	6,6 <sup>a)</sup>	kg VS/m <sup>3</sup> &d

a) Termofil drift trolig, antar dubbla processvärmebehovet

b) Gasproduktionen för gröna certifikat bygger på bruttobiogasproduktionen medan klimatgaserna bygger på nettoproduktionen

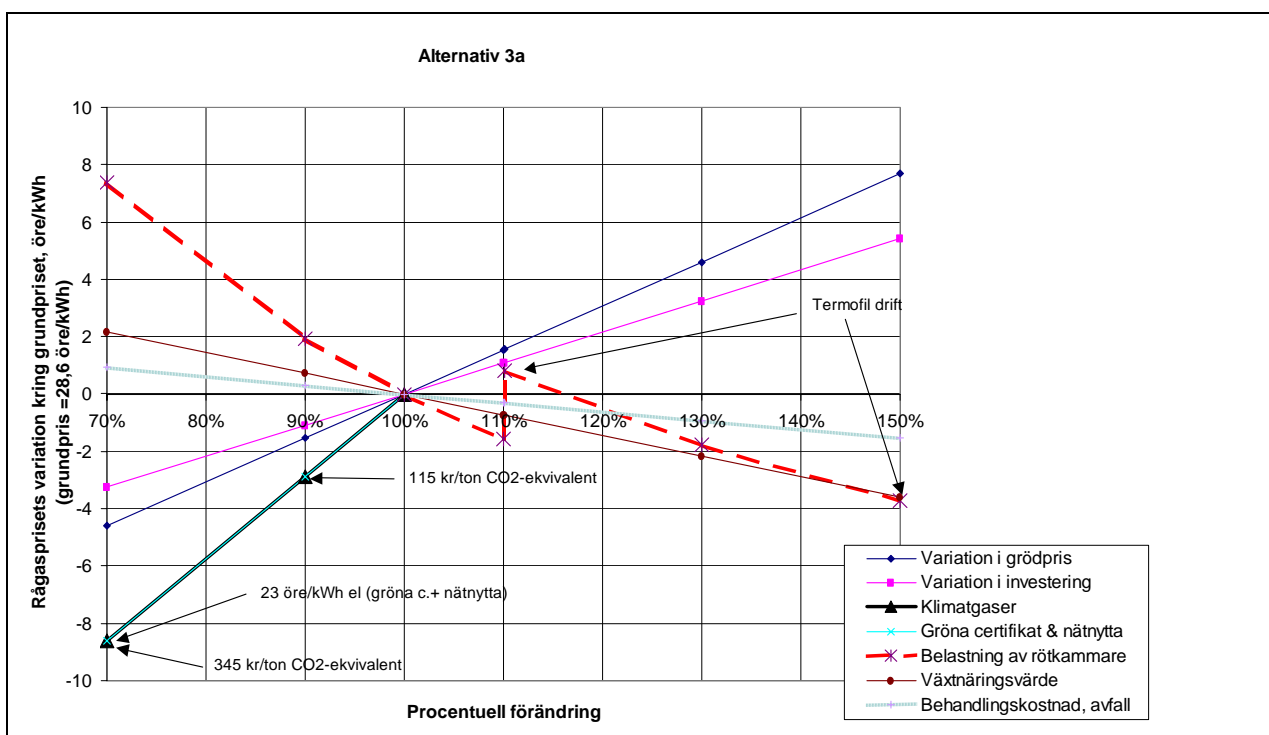


Bild 9. Känslighetsanalys för typanläggning 3a.

### Typanläggning 3b

I bild 10 redovisas resultatet av känslighetsanalysen för typanläggning 3b som samrötar ensilerad fodermajs tillsammans med gödsel och avfall. Indata till denna kalkyl redovisas i absoluta belopp i tabell 32.

För att minska biogasens produktionskostnad med 10 % (motsvarar i detta fall 3,1 öre/kWh biogas) behövs ett produktionsstöd för biogasen som motsvarande 156 kr/ton minskade CO<sub>2</sub>-ekvivalenta utsläpp, som driften av anläggningen leder till, se tabell 15 och bild 10.

Om det istället införs ett produktionsstöd som motsvarar en ersättningsnivå för gröna certifikat och nätnytta på 25 öre/kWh producerad el, skulle detta minska biogasens produktionskostnad med 30 % (motsvarar i detta fall 9 öre/kWh biogas), se bild 10. I denna kalkyl har en elverkningsgrad på 35 % använts.

Tabell 32. Indata till känslighetsanalys för typanläggning 3b.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Majsensilage	189	270	297	351	405	kr/ton
Investering	4,69	6,70	7,37	8,71	10,05	Mkr
Klimatgaser <sup>b)</sup>	468	0				kr/CO <sub>2</sub> -ekv
Gröna cert+nät <sup>b)</sup>	0,25	0				kr/kWh el
Behandlingsavgift	70	100	110	130	150	kr/ton
Belastning, rötchammare	3,4	4,8	5,3	6,3 <sup>a)</sup>	7,3 <sup>a)</sup>	kg VS/m <sup>3</sup> &d

a) Termofil drift trolig, antar dubbla processvärmebehovet

b) Gasproduktionen för gröna certifikat bygger på bruttobiogasproduktionen medan klimatgaserna bygger på nettproduktionen

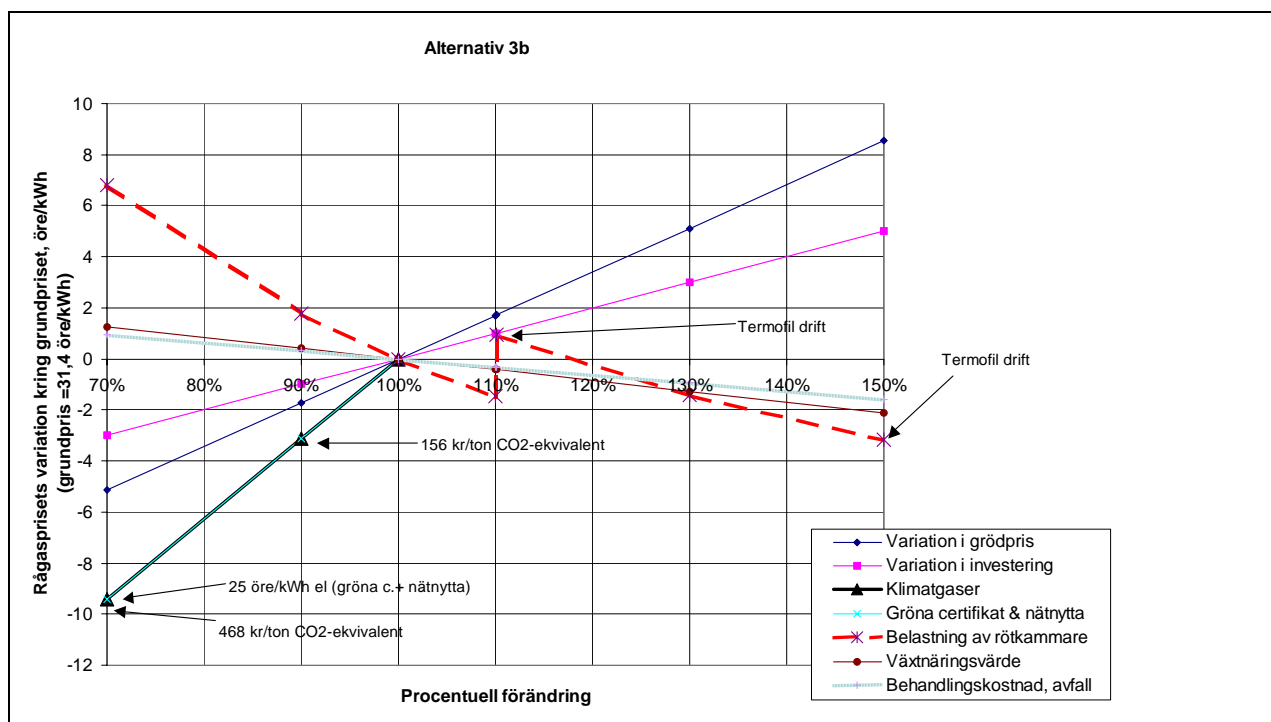


Bild 10. Känslighetsanalys för typanläggning 3b.

### Typanläggning 3c

I bild 11 redovisas resultatet av känslighetsanalysen för typanläggning 3c som samrötar spannmål tillsammans med gödsel och avfall. Indata till denna kalkyl redovisas i absoluta belopp i tabell 33.

För att minska biogasens produktionskostnad med 10 % (motsvarar i detta fall 3,5 öre/kWh biogas) behövs ett produktionsstöd för biogasen som motsvarande 204 kr/ton minskade CO<sub>2</sub>-ekvivalenta utsläpp, som driften av anläggningen leder till, se tabell 15 och bild 11.

Om det istället införs ett produktionsstöd som motsvarar en ersättningsnivå för gröna certifikat och nätnytta på 28 öre/kWh producerad el, skulle detta minska biogasens produktionskostnad med 30 % (motsvarar i detta fall 11 öre/kWh biogas), se bild 11. I denna kalkyl har en elverkningsgrad på 35 % använts.

Tabell 33. Indata till känslighetsanalys för typanläggning 3c.

Nivå	70%	100%	110%	130%	150%	
Spannmål	980	1400	1540	1820	2100	kr/ton
Investering	3,78	5,40	5,94	7,02	8,10	Mkr
Klimatgaser <sup>b)</sup>	612	0				kr/CO <sub>2</sub> -ekv
Gröna cert+nät <sup>b)</sup>	0,28	0				kr/kWh el
Behandlingsavgift	70	100	110	130	150	kr/ton
Belastning, rötammare	3,1	4,5	4,9	5,8 <sup>a)</sup>	6,7 <sup>a)</sup>	kg VS/m <sup>3</sup> &d

a) Termofil drift trolig, antar dubbla processvärmebehovet.

b) Gasproduktionen för gröna certifikat bygger på bruttobiogasproduktionen medan klimatgaserna bygger på nettoproduktionen.

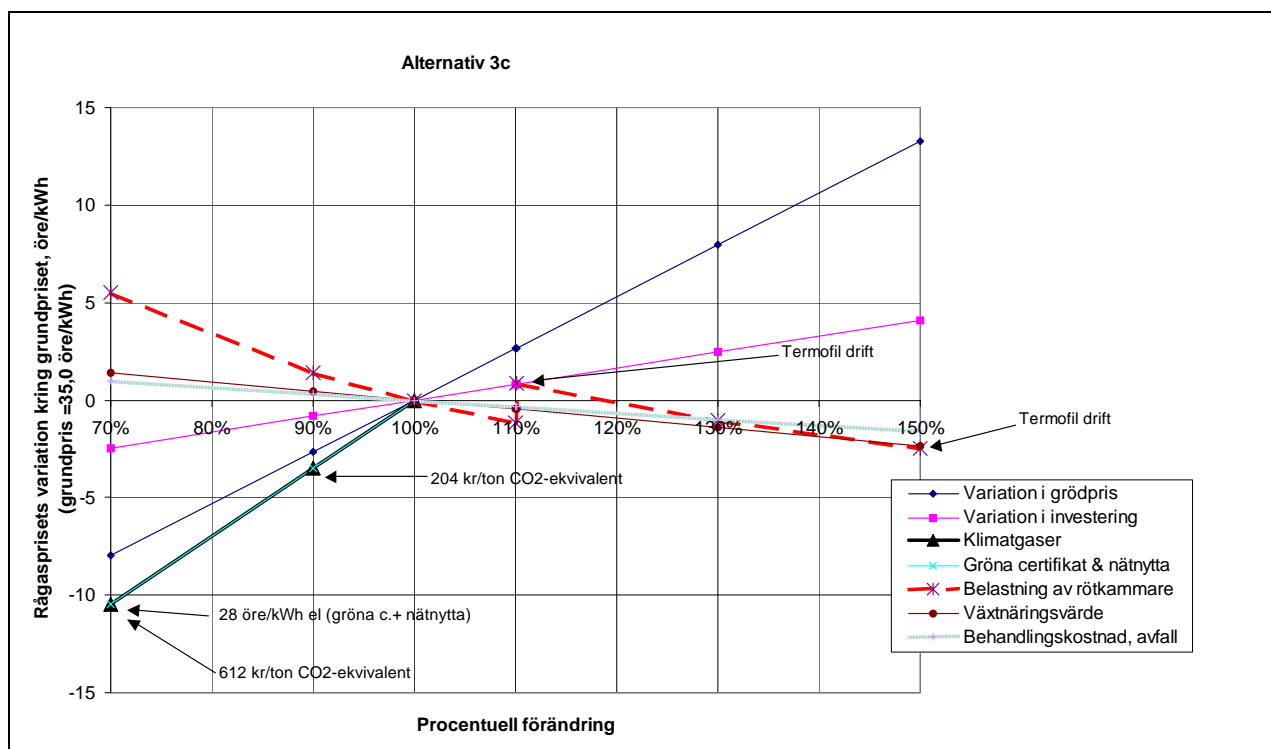


Bild 11. Känslighetsanalys för typanläggning 3c.

## Avfallets ersätts med energigröda

För att undersöka hur avfallet påverkar den ekonomiska utfallet ersätts detta av energigröda i typanläggning 3a–3c så att gasproduktionen är oförändrad. Konsekvensen av denna åtgärd blir att produktionskostnaden för biogasen stiger med 8–10 öre/kWh, se tabell 34. Av denna ökade kostnad bidrar intäkterna från behandlingsavgiften på avfallet med 3 öre/kWh och resten utgörs av kostnaden för att köpa in den extra mängden energigröda som måste rötas för att bibehålla gasproduktionen. En konsekvens av att ersätta avfallet med energigröda blir också att nettovärdet av rötrestens växtnäringsinnehåll ökar något, vilket har inkluderats i kalkylen för förändringen i produktionskostnaden, se tabell 34.

*Tabell 34. Produktionskostnad för biogas då avfallet ersätts med energigröda för typanläggningar 3a–3c. Denna produktionskostnad är utslagen på nettoproduktionen, dvs. efter att biogas som används för uppvärmning av substrat till rötningstemperatur har dragits bort.*

		Typanläggningar		
		3a	3b	3c
Produktionskostnad för rågas <u>utan</u> avfall	kr/kWh	0,37	0,39	0,45
Produktionskostnad för rågas <u>med</u> avfall	kr/kWh	0,29	0,31	0,35

## Ingen efterrötning

Typanläggningarna 3a–3c antas i grundkalkylen vara försedda med ett efterröttningssteg med en volym som motsvarar 50 % av huvudrötkammarens volym. Denna efterrötkammare medför att investeringen blir högre i grundkalkylen, men den bidrar dels till en högre gasproduktion, dels till ett något högre innehåll av direkt växttillgängligt ammoniumkväve i rötresten. Tas denna efterrötkammare bort kommer gasproduktionen att sjunka ner till 5,7 GWh/år och produktionskostnaden för biogasen kommer att stiga med 3–4 öre/kWh, se tabell 35. Denna åtgärd leder även till att minskningen av klimatgaser för typanläggningarna reduceras 250–400 ton/år.

*Tabell 35. Investeringen för anläggning, produktionskostnad för biogas då efterröttningssteget exkluderas samt minskningen av klimatgaser för typanläggningar 3a–3c.*

		Typanläggningar		
		3a	3b	3c
Investering	Mkr	6,6	6,0	4,6
Produktionskostnad, rågas	kr/kWh	0,33	0,35	0,38
Minskad mängd klimatgaser	ton CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per år	1150	900	770

### **Reducerad gödselmängd typanläggning 3a**

Ett kriterie enbart för typanläggning 3a är att gödseln bidrar med 50 % av den mängd torrsubstans som rötas. Om typanläggning istället rötar samma mängd gödsel som typanläggning 3b och 3c (dvs. enbart 14,7 ton flytgödsel per dag) medför detta att mängden vallgröda som rötas måste ökas med 3,6 ton per dag för att bibehålla gasproduktionen. Detta medför att vallensilaget istället bidrar med 66 % av gasproduktionen vilket kommer att resultera i att produktionskostnaden för biogasen stiger upp till 0,33 kr/kWh. Kostnaden för att köpa in den extra mängd energigröda som måste rötas för att bibehålla gasproduktionen bidrar till den ökade produktionskostnaden, denna effekt mildras något av att kapitalkostnaderna kommer att sjunka något liksom att nettovärdet av rötresten ökar.

### **Effektiv organisation**

Gårdsbaserad biogasproduktion har som alla andra näringsverksamheter ett behov av att utvecklas. Historiskt sett har många näringsgrenar inom lantbruk haft stora framgångar genom att arbeta fram samarbetsorganisationer för gemensamma inköp (inköpsföreningar) eller gemensamma organisationer som förädlar och säljer sina produkter (mejeriföreningar, sockerbolag, stärkelseförening, slakteriförening m.fl.)

Genom att bygga upp effektiva organisationer kan man både minska kostnader och samla ett gemensamt utbud.

Genom att samla efterfrågan för gårdsanpassade biogasanläggningar är det lättare att få aktörer till att anpassa anläggningar till gårdarnas behov. Risken minskar för tillverkarna och man får en samlad orderstock som i sin tur kan generera möjligheten att erbjuda rabatter.

### **Elproduktion**

Medelintäkten för nettoenergi (el plus värme) i kraftvärmekalkylen för typanläggning 2 (baserat på förutsättningar som bedöms kunna råda idag) som redovisas i tabell 26 är 73 öre/kWh. Detta resulterar dock i en årlig förlust på 63 000 kr. För att balansera utgifterna med kostnaderna måste medelintäkten för nettoenergi öka med ca 20 öre per kWh såld energi.

Om däremot det utgår ett investeringsstöd på 30 % av hela investeringen kommer kapitalkostnaderna sjunka med 48 000 kr/år (26 kkr för röttningsanläggningen och 22 kkr för kraftvärmeanläggningen) vilket innebär att en den årliga förlusten sjunker till 15 000 kr. För att i detta läge balansera utgifterna med kostnaderna måste medelintäkten för nettoenergi öka med ca 5 öre per kWh såld energi. Investeringsbidraget för typanläggning 2 behöver vara upp mot 40 %, för att produktionen med gjorda antaganden skall uppvisa ett ekonomiskt nollresultat.

## Diskussion och slutsatser

### Störst påverkan på produktionskostnad

För anläggningar som bara rötar gödsel (typanläggning 1 och 2) är kapital- och underhållskostnaden den enskilt största posten i biogasens produktionskostnad. En förändring i investering med 30 % kommer att påverka produktionskostnaden för biogas med 5–14 öre/kWh. Däremot för anläggningar som har energigröda som huvudsubstrat (typanläggning 3a–3c) kommer kostnaden för energigrödan att vara den enskilt största posten i biogasens produktionskostnad. En förändring av priset för energigrödan med 30 % kommer att påverka produktionskostnaden för biogas med 5–8 öre/kWh. Röt-kammarens belastning påverkar starkt biogasens produktionskostnad. Vald belastning för typanläggning 3a–3c är hög och om man endast uppnår 70 % av denna stiger produktionskostnaden med 5–7 öre/kWh.

Rötning i det termofila området medför att röt-kammarbelastningen kan höjas, vilket leder till högre gasproduktion men även till ett större behov av processvärme för att uppnå den högre rötningstemperaturen. Behovet av processvärme ökar mest för de alternativ då enbart gödsel rötas eftersom gödseln innehåller mycket vatten att värma liksom att torrsubstansen är svår att omsätta till biogas. I det belastningsintervall som studerats vid gödselrötning, leder termofil rötning till en högre produktionskostnad för biogas. Vid kraftvärmeproduktion, med hög ersättning för den elektricitet som produceras men begränsad lokal marknad för värme, kan det dock vara ekonomiskt fördelaktigt att driva rötningssprocessen inom det termofila området eftersom använd processvärme inte har något alternativvärde. I alternativet där energigröda rötas är värmebehovet lägre eftersom mängden vatten i substratblandningen är väsentligt lägre än för flytgödsel liksom att dess torrsubstans är lättare att omsätta till biogas. En termofil rötning för dessa energigrödeprocesser där belastningen är 50 % högre än grundalternativet skulle innebära en sänkning av produktionskostnaden med 2–3 öre/kWh. Det ska dock beaktas att höga salthalter i röt-kammaren kan orsaka instabilitet i rötningssprocessen och en termofil process är väsentligt känsligare för detta än en mesofil. Erfarenheterna från termofil rötning av energigröda är också mycket begränsade i jämförelse med mesofil rötning.

### Rötning av energigröda

I de studerade alternativen där energigröda rötas (typanläggning 3a–3c) gav alternativet där vallgröda rötas (typanläggning 3a) den lägsta produktionskostnaden för biogas följt av majsensilage (typanläggning 3b) och spannmål (typanläggning 3c). Priset för energigröda är en viktig faktor för dessa resultat. I denna studie är majs den billigaste energigrödan per utvunnen energienhet biogas (se tabell 19). Dock är gödselinblandningen större i typanläggning 3a än i typanläggning 3b vilket gör att de årliga kostnaderna för inköp av energigröda totalt sett blir något lägre för typanläggning 3a än för typanläggning 3b (se tabell 21). I känslighetsanalysen reduceras mängden gödsel som rötas i typanläggning 3a till samma mängd som vid de två typanläggningarna som rötar energigröda, samtidigt ökas mängden vallgröda så att biogasproduktionen bibehålls. Detta leder till att produktionskostnaden för biogas stiger med 4 öre/kWh, vilket medför att typanläggning 3b (majsensilage) får en lägre produktionskostnad än 3a.

Med den använda modellen blir värdet av rötresten högre för alternativ 3a än för de övriga alternativen. Detta beror huvudsakligen på att vallgrödan är ett väsentligt

kväve- och kaliumrikare substrat än majsensilage och spannmål, vilket höjer rötrestens växtnäringsvärde (se tabell 20).

Energigrödan majsensilage (typanläggning 3b) är den gröda som har lägst kväveinnehåll och högst innehåll av vatten. Detta leder till att nettovärdet för denna rötrest blir väsentlig lägre än för de andra två alternativen.

Energigrödan spannmål (typanläggning 3c) är också en gröda som har förhållandevis lågt kväveinnehåll, men den har väsentligt lägre innehåll av vatten än de andra två alternativa grödorna. Detta medför en väsentligt lägre spridningskostnad än för de två andra alternativen, vilket leder till ett nettovärde för rötresten som bara är något lägre än alternativet där vallgröda rötas (se tabell 20).

### **Avfall ersätts med energigröda**

Om avfallet ersätts med energigröda i typanläggning 3a–3c så att gasproduktionen är oförändrad blir konsekvensen att produktionskostnaden för biogasen stiger med 8–10 öre/kWh.

### **Effekt av investeringsstöd**

De anläggningar som rötar gödsel (typanläggningarna 1 och 2) gynnas mer av ett investeringsbidrag än de som rötar energigröda (typanläggningar 3a–3c). Exempelvis skulle ett investeringsstöd på 30 % sänka produktionskostnaden för biogas för typanläggning 2 med ca 5 öre/kWh medan en typanläggning som rötar energigröda bara sänker kostnaden för biogasen med 2–3 öre/kWh. Detta beror på att kostnaden för energigröda utgör den enskilt största kostnadsposten medan kapitalkostnaden är störst för de anläggningar som rötar gödsel.

För typanläggning 2 behövs ett investeringsstöd på ca 40 %, för att kraftvärmeproduktionen med gjorda antaganden skall uppvisa ett ekonomiskt nollresultat.

### **Klimatpåverkan**

Rötning av gödsel ger 2,5–5 ggr större reduktion av klimatgaser per kWh såld energi än alternativen där energigröda rötas (se tabell 16). Denna reduktion beror dels på att biogasen ersätter den icke förnybara energin, dels på att rötning av gödsel leder till lägre klimatgasutsläpp vid hantering och användning. Med utgångspunkt i gjorda antaganden så är detta gödselbidrag ungefär lika stort som bidraget från såld energi (se tabell 15).

Om en ersättning för minskade klimatgasutsläpp motsvarande 200 kr/ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter skulle utgå till biogasanläggningar, skulle produktionskostnaden för biogas sjunka med 7–12 öre/kWh för en typanläggning som rötar gödsel medan kostnaden skulle sjunka med 3–5 öre/kWh för anläggningar som rötar energigröda. Med denna värdering av minskade utsläpp av klimatgaser skulle elproduktion i typanläggning 2 uppnå en brytpunkt där kraftvärmeproduktion med biogas kan vara lönsamt.

### **Ingen efterrötning**

Efterrötningsteget leder till att gasproduktionen ökar men även att metanemissionerna minskar (beroende på ett lägre B<sub>0</sub>-värde, se bilaga 5). Tar man bort det efterrötningsteget som finns i typanläggningarna 3a–3c (se bild 4- 6) sjunker investeringen med 0,7–0,9 Mkr, men utan efterrötning kommer gasproduktionen att

sjunka med 12–20 % (jämför tabell 8 och 9) varför denna åtgärd ändå leder till att produktionskostnaden för biogasen stiger med 3–4 öre/kWh.

Vidare kommer den lägre gasproduktionen och högre metanemissioner att leda till att minskningen av klimatgaser för typanläggningarna 3a–3c kommer att bli ca 75 % av det redovisade värdet i tabell 15. Det skall dock noteras att det finns en betydande osäkerhet i bedömningen av hur mycket gas som kan utvinnas vid en efterrötning.

### **Transportkostnader**

I kalkylförutsättningarna för alternativen då energigrödor rötas antas att det inte föreligger någon transportkostnad för att få in flytgödseln till anläggningarna (dvs. flytgödseln produceras i anslutning till biogasanläggningen) och att det inte krävs någon transport med lastbil från anläggning till spridningsarealen (dvs. det finns tillräckligt med spridningsareal i närheten av biogasanläggningen så att denna transport sker vid spridningstidpunkten med spridningsekipaget). Om dessa förutsättningar icke gäller, kommer detta att leda till en ökad produktionskostnad för biogasen. Eftersom mängden flytande gödselmedel att transportera är minst för typanläggning 3c kommer denna att påverkas minst i jämförelse med typanläggning 3a och 3b.

Om man vill producera lika mycket biogas från flytgödsel (nettoproduktion) som anläggningarna som rötar energigröda, måste det rötas ca 50 000 m<sup>3</sup> flytgödsel per år. För att komma upp i denna mängd flytgödsel krävs att flytgödsel transporteras från ca 12 gårdar med lika stor gödselproduktion som vid typanläggning 2. Denna transportkostnad för gödsel in till anläggningen och transport tillbaka med rötad gödsel är beroende av transportavståndet. Danska erfarenheter från biogasanläggningar som rötar stora mängder gödsel är att transportkostnaden utgör ca 1/3 av den årliga kostnaden (Hjort-Gregersen, 1998).

### **Produktion av elektricitet**

I rapporten redovisas huvudsakligen ekonomin för anläggningen i form en produktionskostnad för biogasen. Det är viktigt att notera att det måste finnas avsättning för den biogas som produceras för att anläggningen ska få en bra ekonomi! Detta är ofta en begränsande faktor för gårdsbaserad biogasproduktion. En gårds värmebehov är förhållandevis litet och varierar mycket under året, varför bara delar av den värme som en anläggning kan producera under ett år kan användas och ersätta andra bränslen för uppvärmning. Även då biogasen används för att producera elektricitet kommer mängden värme som kommer från kylningen av motorn att vara i samma storleksordning som producerad elektricitet. I länder med hög ersättning för elektricitet, som Tyskland, kan enbart intäkterna från producerad elektricitet räcka till för att få ekonomi på anläggningen. I Sverige, där ersättningen för elektricitet producerad vid gårdsanläggningar bara är hälften så hög som i Tyskland (oftast till och med ännu lägre), måste det finnas avsättning för producerad värme. Det är också viktigt att produktionskostnaden för biogasen är mycket låg, helst under 20 öre/kWh.

### **Produktion av biodrivmedel**

Om biogasen ska användas till biodrivmedel måste dess innehåll av koldioxid renas bort för att därefter komprimeras till ca 200 bars tryck innan den kan tankas

i fordon. Dessa uppgraderingskostnader av biogasen till drivmedelskvalitet är hög, i synnerhet för små uppgraderingsanläggningar. Exempel på detta redovisas av Persson (2003) som anger reningskostnaden till 10–15 öre/kWh (exkluderar kostnader för komprimering till 200 bar, högtryckslager och utrustning för tankning av fordon) för anläggningar som renar minst ca 5000 m<sup>3</sup> rågas per dygn. För anläggningar som bara renar ca 2000m<sup>3</sup> rågas per dygn stiger denna reningskostnad till ca 30 öre/kWh.

För att nå upp till ca 5000 m<sup>3</sup> rågasproduktion skulle ca 20 gårdsanläggningar med storlek enligt typanläggning 2 behöva kopplas ihop mot ett lokalt gasnät (se kapitlet "Lokala gasnät") och det skulle troligtvis krävas ett långt lokalt gasnät för att koppla ihop dem. Kostnaden för den rågas som ska renas kommer därmed att öka påtagligt då transportkostnaden huvudsakligen beror på hur lång ledning som måste uppföras. Om däremot två stycken biogasanläggningar som rötar energigröda enligt alternativ 3a–3c kopplas ihop med ett lokalt gasnät, kommer den gemensamma rågasproduktionen uppgå till ca 6000 m<sup>3</sup>/dygn. Detta lokala gasnät torde vara väsentligt kortare och därmed ha lägre kostnader än om många små anläggningar, som enbart rötar gödsel, ska kopplas ihop med ett gasnät.

Under våren 2008 har bensinpriset varierat mellan 12,0 och 13,5 kr/l inkl. moms, (www.shell.se) vilket motsvarar 1,04–1,17 kr/kWh exkl. moms. Om en grupp lantbrukare tillsammans kan producera minst 5000 m<sup>3</sup> biogas/dygn, kan det finnas förutsättningar för att producera drivmedel till dagens bensinpris. Kostnaden för biogas som drivmedel från lantbrukarägda anläggningar skulle kunna bli konkurrenskraftig exempelvis med följande förutsättningar, där den totala kostnaden för biogas uppgår till drygt 0,9 kr/kWh och där det kan lämnas ett utrymme på 0,15 kr/kWh i rabatt på biogasen i jämförelse med bensin (gasdrivna bilar har högre inköpspris):

- 0,40 kr/kWh för rågas
- 0,12 kr/kWh för lokalt gasledningsnät
- 0,15 kr/kWh för rening av gas
- 0,25 kr/kWh för komprimering av gas, tankstation för biogas, marginal till mackägare
- 0,15 kr/kWh rabatt på gaspris i jämförelse med bensin

En uppenbar flaskhals att producera biogas till en drivmedelsmarknad är att det kommer att ta tid att bygga upp en lokal marknad med gasdrivna fordon. Ett alternativ kan vara att koppla på det lokala gasnätet till ett naturgasnät och på så sätt få avsättning för all producerad biogas, under förutsättning att naturgasnätet ligger inom rimligt avstånd.

### **Framtida förutsättningar**

Vi bedömer att de ekonomiska förutsättningarna för gårdsbaserad biogasproduktion kommer att förbättras väsentligt inom en relativt nära framtid. Framför allt är det följande parametra som talar för att det kommer att finnas affärsmöjligheter för tekniken:

- Stigande energipriser på grund av de framtida globala avtal som syftar till att sänka utsläppen av klimatgaser, men även bristande produktionskapacitet för olja.

- Lantbrukare som satsar på gårdsbaserad biogasproduktion kan redovisa att gårdens produktion av livsmedel har väsentligt lägre utsläpp av klimatgaser än gårdar som ej producerar biogas. Det är rimligt att tro att detta i framtiden kan inbringa ett mervärde på de livsmedelsråvaror som biogasgården producerar.
- Med en gårdsanläggning finns affärsmöjligheter för lantbrukaren genom att samröta gödsel med hygieniserat livsmedelsavfall från industrin alternativt källsorterat kommunalt matavfall, vilket kan ge intäkter från ökad biogasproduktion såväl som behandlingsintäkter. Vi tror också att ett samarbete med kommuner kan öppna upp för lokala marknader för biogas som drivmedel. Vid samrötning med avfall minskar också gårdens kostnader för inköp av handelsgödsel.

Vi tror även att ett investeringsbidrag på 30 % (vilket är den nivå som diskuteras idag) kan ha stor effekt för att momentant minska lantbruksföretagens ekonomiska risktaganden att investera i en gårdsanläggning. Långsiktigt kommer dock utfallet av de tre punkterna ovan att vara viktigare än de sänkta kapitalkostnader som själva investeringsstödet medför, för att det ska vara företagsekonomiskt rätt för lantbrukaren att satsa på gårdsbaserad biogasproduktion.

## Referenser

- Brännström-Nordberg B.-M., Dethlefsen U., Johansson R., Setterwall C. & Tunbrant S., 1996. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion. Vattenfall AB, Stockholm.
- Buhre M. & Eriksson Å., 1997. Livscykelanalys för kolkraft. Examensarbete vid Vattenfall Energisystem AB, Stockholm.
- Börjesson P. & Berglund M., 2003. Miljöanalys av biogassystem. Rapport 45, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Lund.
- Börjesson P. & Berglund M., 2006. Environmental Analysis of Biogas Systems – Part I: Fuel Cycle Emissions. *Biomass and Bioenergy* 30, 469–485.
- Börjesson P. & Berglund M., 2007. Environmental systems analysis of biogas systems – part II: Environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, 31, 326–344.
- Davis J. & Haglund C., 1999. Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production. SIK-Report No 654 1999. SIK, Göteborg.
- Dustan A., 2002. Review of methane and nitrous oxide emission factors for manure management in cold climates. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 299. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Eder B. & Schulz H., 2006. Biogas Praxis. Grundlagen, planung anlagenbau beispiele wirtschaftlichkeit. ISBN 3-936896-13-5. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg.
- Edström M., Nordberg Å. & Ringmar A., 2005. Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik. JTI-rapport *Kretslopp & Avfall* nr 31. JTI, Uppsala.
- EEG, 2004. Erneuerbare-Energien-Gesetz, BGBl 2004 Teil 1 Nr. 40. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004.
- Ergebnisse des Biogas Messprogram, 2005. Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e.V. Gülzow, Tyskland.
- Hjort-Gregersen K., 1998. Biogafællesanlæg, Økonomske resultater og analyser. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomske Institut, Valby.
- Handreichung, 2004. Biogasgewinnung und -nutzung. ISBN 3-00-014333-5. Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e.V. Gülzow, Tyskland.
- Hörndahl T., 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftbyggnader – en kartläggning av 16 gårdar med olika driftinriktningar. Rapport 145. Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi, SLU, Alnarp.
- Lantz M., 2004. Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvärme. – ekonomi och teknik. Lunds tekniska högskola, institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och teknik, Lund.
- Lantz M., 2008. Lönsam produktion av kraftvärme från gårdsnära biogas, manuskript, Miljö- och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola.
- Marmolin C., Andersson J., Blomberg Y., Andersson M. & Hansson Ö., 2004. Spannmål som en framtida energikälla för uppvärmning. HS Rapport 2/04. Hushållningssällskapet.
- Nordberg Å. & Edström M., 1997. Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor. JTI-rapport *Kretslopp & Avfall* nr 11. JTI, Uppsala.
- Nordberg Å., Edström M., Pettersson C-M. & Thyselius L., 1997. Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall. JTI-rapport *Kretslopp & Avfall* nr 13. JTI, Uppsala.
- Persson M., 2003. Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas. Rapport SCG 142.

- Peterson F., 1984. Värmebehovsberäkningar. Kompendium I:1. Uppvärmning och ventilationsteknik. KTH, Stockholm.
- Rodhe L., Salomon E. & Edström M., 2006. Handling of digestate on farm level. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 347. JTI, Uppsala.
- Röhling I., 2008. Economic parameters of biogas production – obtained from pilot plant in Bavaria. In Biogas – efficient and reliable, 17<sup>th</sup> Annual Convention of Facherband Biogas e.V. January 15<sup>th</sup> to January 18<sup>th</sup> 2008, Facherband Biogas e.V., Germany, pp 11–17.
- Salomon E., Malgeryd J., Rogstrand G., Bergström J. & Tersmeden M., 2006. Halter av växtnäring och spårelement i lagrad gödsel från värphöns. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 349. JTI, Uppsala.
- SCB, 2006. Jordbruksstatistisk årsbok 2007 med data om livsmedel. ISBN 978-91-618-1331-5. Statistiska centralbyrån, Örebro.
- Soledad G.G., 2005. Farm scale anaerobic digestion integrated in an organic farming system. JTI-rapport *Kretslopp & Avfall* nr 34. JTI, Uppsala.
- SOU 2007:36. Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. ISBN 978-91-38-22751-0. Statens offentliga utredningar.
- Södergren L-O., Calminder B., Landfors K. & Westlund R., 2002. Gemensam värme. K-Konsult. Energi Stockholm AB.
- Steineck S., Gustafson A., Stintzing A., Salomon E., Myrbeck Å., Albihn A. & Sundberg M., 2000. Växtnäring i kretslopp. SLU, Uppsala.
- Uppenberg S., Almemark M., Brandel M., Lindfors L-G., Marcus H-O., Stripple H., Wachtmeister A. & Zetterberg L., 2001. Miljöfaktabok för bränslen. Del 1. Huvudrapport (Environmental Data on Fuels. Main Report). IVL Report B1334-2B, Swedish Environmental Research Institute, Stockholm.

## Personliga meddelanden

- Bonse-Geuking, W. WELtec BioPower, november 2006.
- Börjesson, Pål. LTH, Lunds universitet, mars 2008.
- Eriksson, Peter. Hushållningssällskapet Väst, mars 2008.
- Horbelt, Andrea. Fachverband Biogas, november 2006.
- Jansson, Lars-Erik. LRF-konsult, 2008.
- Lindvall, Mikael. Abetong AB, april 2007.
- Meier, Arno. Biogas NORD GmbH, november 2006.
- Pettersson, Olof. Läckeby Water, 2003.
- Sundberg, Martin. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2007.
- Thorell, Hans. Plantev, Lantmännen, december 2006.

## Webbplatser

- Lantmännen Agroenergi. [www.agroenergi.se](http://www.agroenergi.se)
- Nord Pool Spot. [www.Nordpool.com](http://www.Nordpool.com)
- Pelletsbranschen. [www.pelletsbranschen.se](http://www.pelletsbranschen.se)
- Svenska Shell. [www.shell.se](http://www.shell.se)
- Skatteverket. [www.skatteverket.se](http://www.skatteverket.se)
- Svenska Petroleuminstitutet. [www.spi.se](http://www.spi.se)

## Beräkning av gårdens behov av värme för typanläggning 1 och 2

### Generella beräkningsförutsättningar

Vid beräkning av värmebehovet vid gårdarna som värmer gården med biogas, har följande generella kriterier antagits gälla:

- Biogasproduktionen dimensioneras så att den räcker till för uppvärmning (inklusive energi för uppvärmning av tappvarmvatten) ner till en utomhus-temperatur på 0 °C. Vid lägre temperaturer antas det finnas en annan värme-källa som börjar användas för att komplettera gårdens försörjning med värme (s.k. spetsvärme).
- Inomhustemperaturen i bostadshus antas vara 20 °C men att uppvärmning bara behöver ske till 17 °C, resterande värmestillskottet för de 3 resterande graderna är gratisvärme från elutrustning i bostad samt värme från människor.
- Lokaler och bostadshus uppvärms under perioden 15 september–15 maj, resterande delar av året föreligger enbart värmebehov till tappvarmvatten.
- Oljebehovet för att värma upp en villa som finns på gården antas vara 3 m<sup>3</sup>/år.
- Lokalisering av anläggning antas vara för en plats med ett specifikt värmebehov ca 88 000 gradtimmar (enligt Peterson, 1984 är Nyköping exempel på ort med detta specifika värmebehov).

För att beräkna fastighetens årliga oljebehov  $Q_{\text{år}}$  har ekvationen 1 använts.

$$Q_{\text{år}} = kA \cdot S \quad \text{ekvation 1 (Peterson, 1984)}$$

*kA: fastighetens kA-värde vars storlek är beroende av dels hur stort välisolerad huset är, dels dess storlek. I detta exempel har kA-värdet beräknats till ca 1,19 kW/°C. Detta kA-värde inkluderar även uppvärmningssystemets pannförluster.*

*S: det specifika värmebehovet.*

För att beräkna fastighetens och driftbyggnadernas oljebehov i medel per månad  $Q_{\text{m}}$  har ekvationen 2 använts.

$$Q_{\text{m}} = kA \cdot (t_i - t_u) \quad \text{ekvation 2 (Peterson, 1984)}$$

*t<sub>i</sub>: den temperatur inomhus som värmesystemet ska värma upp till, dvs. 17 °C (se punkter ovan).*

*t<sub>u</sub>: månadsvisa medeltemperaturen utomhus, se bild b1:1.*

Månadsmedeltemperatur, Nyköping

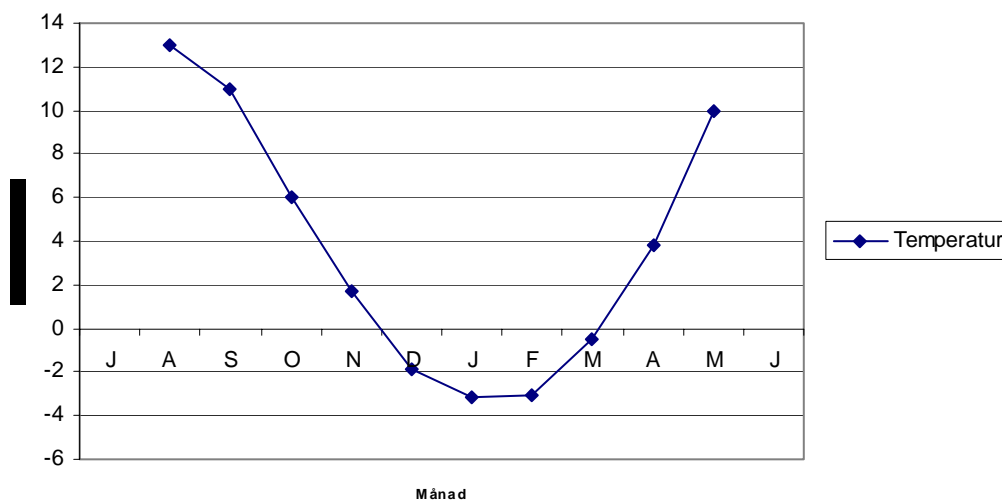


Bild b1:1 Månadsmedeltemperatur i Nyköping från augusti till maj.

### Typanläggning 1

I typanläggning 1 antas det att gårdens driftbyggnader tillsammans med ett bostadshus totalt använder  $5,9 \text{ m}^3$  eldningsolja per år vilket motsvarar  $58 \text{ MWh/år}$ . Av denna energimängd antas  $13 \text{ MWh}$  vara jämt fördelat över året i form av uppvärmning av tappvarmvatten. Resterande energimängd används för uppvärmning av bostaden och driftbyggnader. Med detta som underlag kommer värmebehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten variera mellan  $1050 \text{ kWh/månad}$  (sommarperiod) samt  $8700 \text{ kWh/månad}$  (januari). Energibehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten för biogasproduktion, vid utomhustemperaturer ner till  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , är  $243 \text{ kWh}$  olja/dygn vilket motsvarar en bränsleeffekt på  $10 \text{ kW}$ .

För att värma upp gödseln till rötningstemperatur och kompensera för rötkamarens värmeförluster har det beräknats att ca  $25 \%$  av bruttoproduktionen av biogas används som processvärme. Detta medför att det behövs en bruttoproduktion på  $13,3 \text{ kW}$  biogas för att erhålla en nettoproduktion av biogas på  $10 \text{ kW}$ , se bild b1:2. Utgående från detta behöver biogasanläggningens bruttoproduktion av metan att vara  $33 \text{ m}^3$  per dygn.

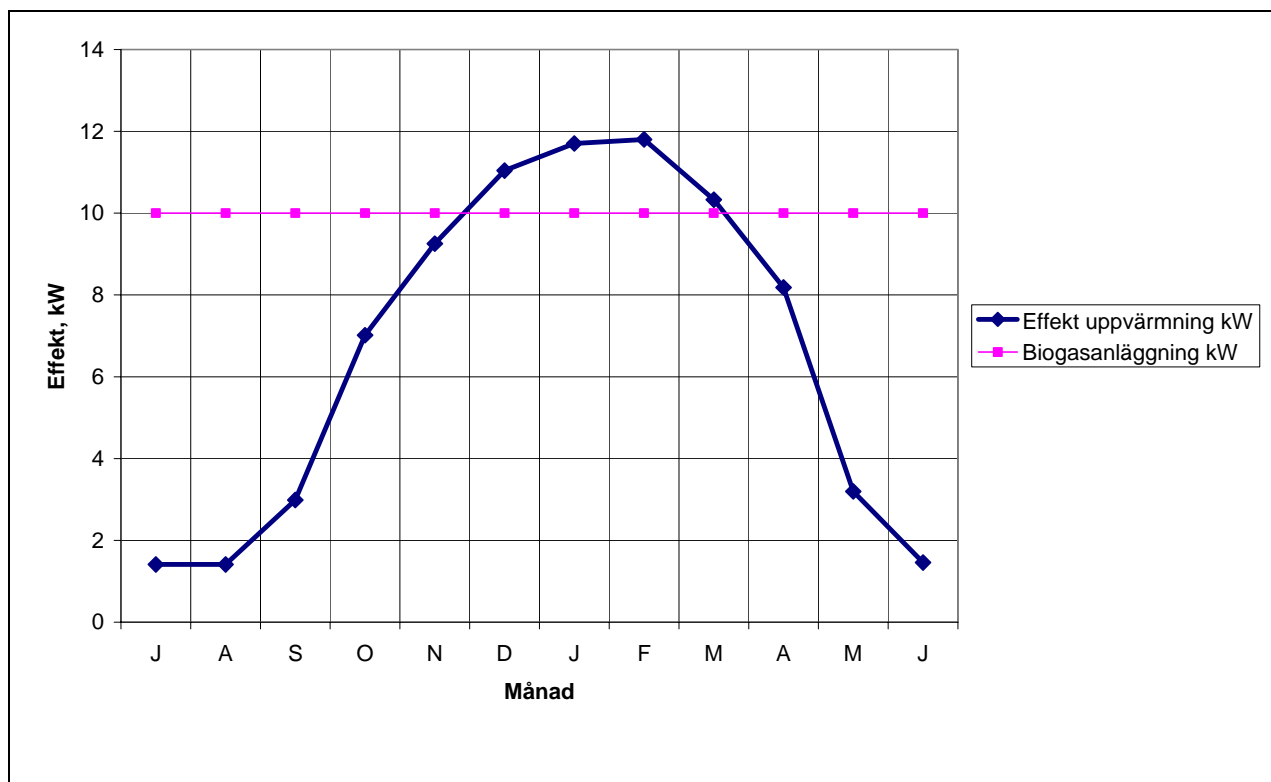


Bild b1:2. Effektbehov (för energibärare) för uppvärmning (inkl tappvarmvatten) som funktion av medeltemperatur per månad. Dessutom anges biogasproduktionen för typanläggning 1 (överskott efter rötchamruppvärmning) där 2,2 ton/d flytgödsel från nötkreatur rötas.

Rötas 1 ton flytgödsel, från nötkreatur med sammansättning enligt tabell 5, beräknas produktionen av metan bli 14,8 m<sup>3</sup> metan vilket motsvarar 24,4 m<sup>3</sup> biogas per ton gödsel, om biogasens metaninnehåll är 61 %. För att uppnå den ovan angivna gasproduktionen måste anläggningen minst klara av att röta 2,2 ton flytgödsel per dag (motsvara gödsel från ca 40 mjölkkor). Bruttoproduktionen av biogas blir 117 MWh/år om anläggningen dagligen rötar denna gödselmängd året runt och nettoproduktionen 88 MWh/år, se tabell 3.

Av nettoöverskottet av biogas kommer 62 % att åtgå för uppvärmning inklusive tappvarmvatten (se bild 1) vilket motsvarar 54,5 MWh/år med en månadsfördelning som beskrivs i bild b1:3. Behovet av spetsvärme blir 5,5 MWh/år och överskottsproduktionen av biogas 33,1 MWh/år.

Biogasen nyttjas till hundra procent 3,5 månader/år och då behövs även spetsvärme för att upprätthålla inomhustemperatur på 20 °C, se bild b1:2 och b1:3.

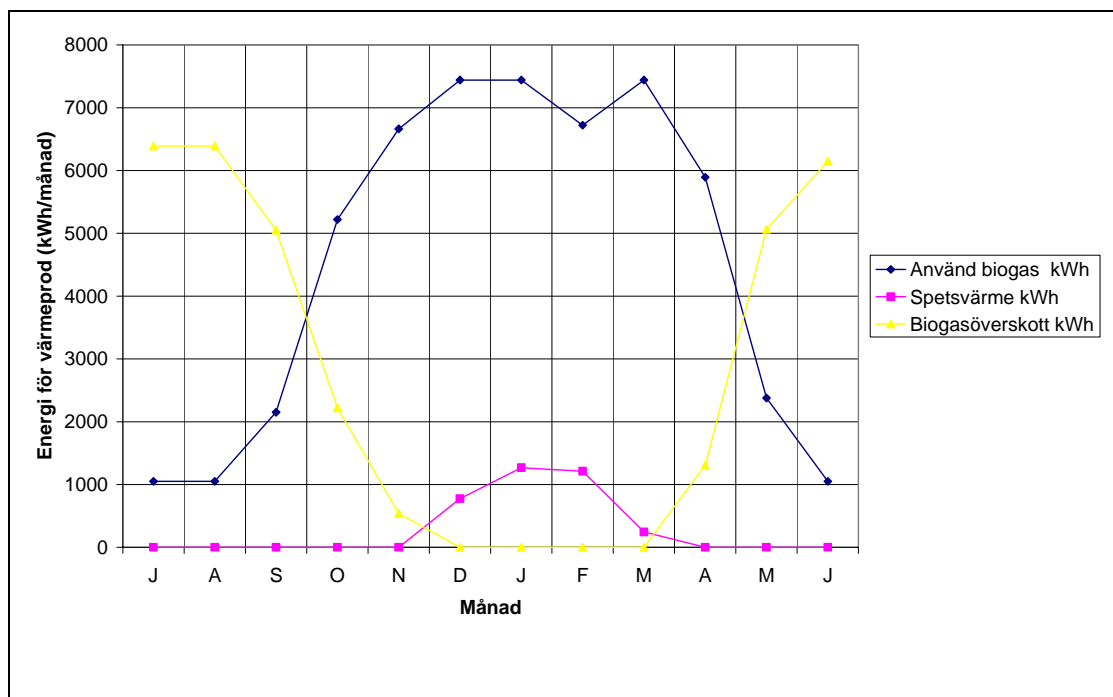


Bild b1:3. Totalt energibehov för uppvärmning (inkl tappvarmvatten) per månad, biogasöverskott (av nettoproduktionen) per månad samt energibehov via spetsvärme för typanläggning 1, där 2,2 ton/d flytgödsel från nötkreatur rötas.

## Typanläggning 2

I typanläggning 2 antas det att gårdens driftbyggnader tillsammans med bostadshus totalt använder  $13,5 \text{ m}^3$  eldningsolja per år vilket motsvarar 134 MWh/år. Av denna energimängd antas 29 MWh vara jämt fördelat över året i form av uppvärmning av tappvarmvatten. Resterande energimängd används för uppvärmning av bostäder och byggnader. Med detta som underlag kommer värmebehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten variera mellan 2 450 kWh/månad (sommarteriod) samt 17 900 kWh/månad (januari). Energinbehovet för uppvärmning inklusive tappvarmvatten för biogasproduktion, vid utomhustemperaturer ner till  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , är 567 kWh olja/dygn vilket motsvarar en bränsleeffekt på 23,6 kW, se bild b1:4. Vidare antas att den oljepanna som ersätts har en verkningsgrad på 90 % vilket gör att värmeeffekten vid denna utomhustemperatur blir 21,2 kW.

I detta fall används biogasen för att producera kraftvärme. Motorns elverkningsgrad antas vara 32 % och värmeverkningsgrad 50 % av tillfört bränsle. För att värma upp gödseln till rötningsstemperatur och kompensera för röt-kammarens värmeförluster har det beräknats att åtgå 0,22 kWh värme per kWh producerad biogas. Detta gör att nettoproduktionen av värme från motorn blir 0,28 kWh per kWh producerad biogas. Utgående från detta behövs det en gaseffekt på brutto 77 kW biogas för att erhålla en värmeeffekt på netto 21,2 kW, se bild b1:4. Med detta som utgångspunkt behöver biogasanläggningens produktion av metan att vara  $189 \text{ m}^3$  per dygn.

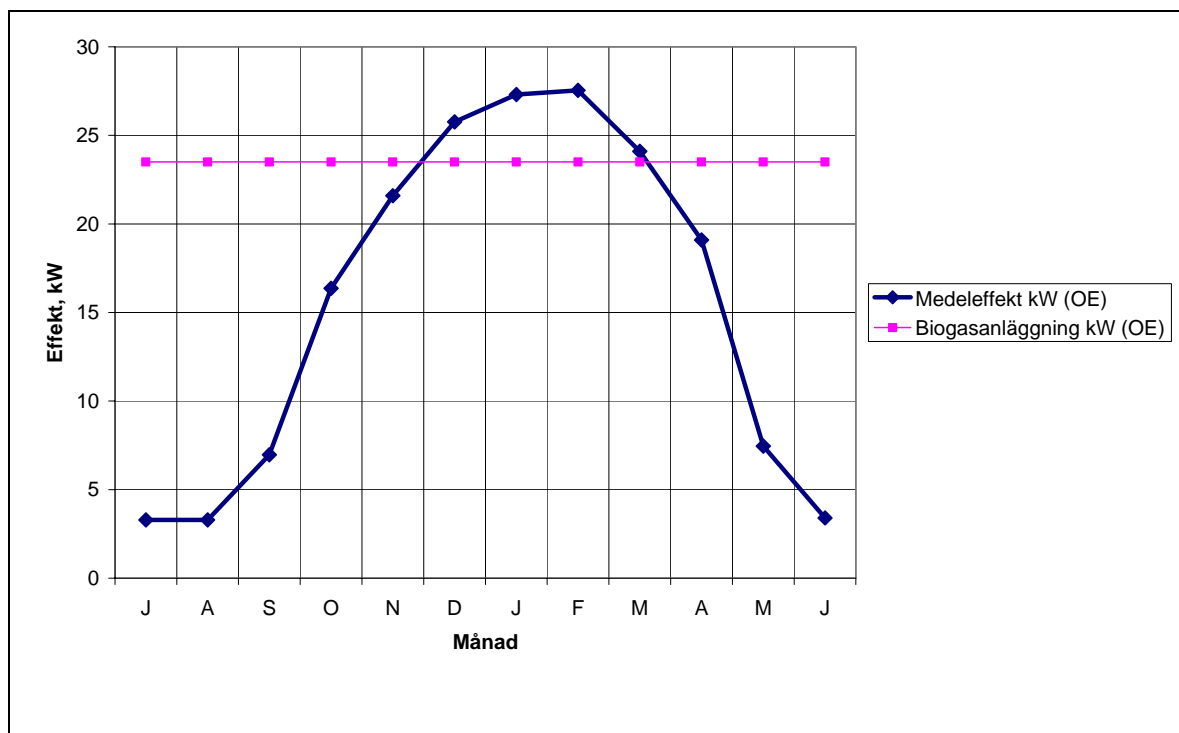


Bild b1:4. Effektbehov (för energibärare) för uppvärmning (inkl tappvarmvatten) som funktion av medeltemperatur per månad (anges som oljeekvivalent (= O E)). Dessutom anges värmeproduktionen från kraftvärmeanläggningen (överskott efter rötchammaruppvärmning omräknad till O E) om 11,7 ton/d flytgödsel från slaktsvin (8 % ts-halt) rötas.

Rötas 1 ton flytgödsel, från slaktsvin med sammansättning enligt tabell 5, beräknas produktionen av metan bli 16,2 m<sup>3</sup> metan vilket motsvarar 25,3 m<sup>3</sup> biogas per ton gödsel, om biogasens metaninnehåll är 64 %. För att uppnå den ovan angivna gasproduktionen måste minst anläggningen minst klara av att röta 11,7 ton flytgödsel per dag (motsvara ca 2700 stallplaster för slaktsvin). Bruttoproduktionen av biogas blir 676 MWh/år om anläggningen dagligen rötar denna gödselmängd året runt. Vid kraftvärmeproduktionen blir bruttoproduktionen av elektricitet 216 MWh/år elektricitet och värme 338 MWh/år. Efter att behovet av energi för att driva anläggningen räknats bort, blir nettoproduktionen av elektricitet 200 MWh/år och värme 189 MWh/år, se tabell 4 och bild b1:7.

Värmebehovet för 2660 slaktsvinsplatser har utgående från Hörndahl (2007) beräknas till 31 MWh/år och elbehovet för 2660 djurplatser beräknas till 115 MWh/år.

Av nettoöverskottet av värme kommer 62 % att åtgå för uppvärmning inkl. tappvarmvatten (se bild b1:5) vilket motsvarar 128 MWh (O E)/år (se bild b1:6). Behovet av spetsvärme blir 8 MWh/år (se bild b1:6). Överskottsproduktionen av värme blir 78 MWh (O E)/år.

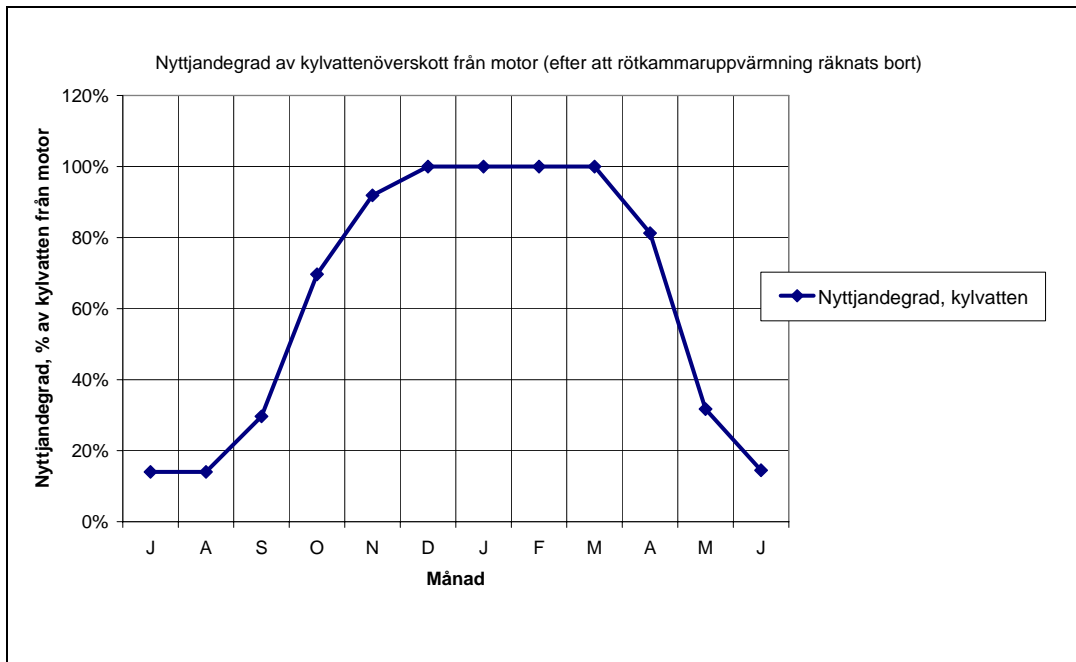


Bild b1:5. Nyttjandegrad av producerad biogas utgående Bild x1. 11,7 ton/d flytgödsel från slaktsvin (8 % ts-halt) rötas.

Biogasen nyttjas till hundra procent 3,5 månader/år och då behövs även spetsvärme för att upprätthålla inomhustemperatur på 20 °C, se bild b1:6.

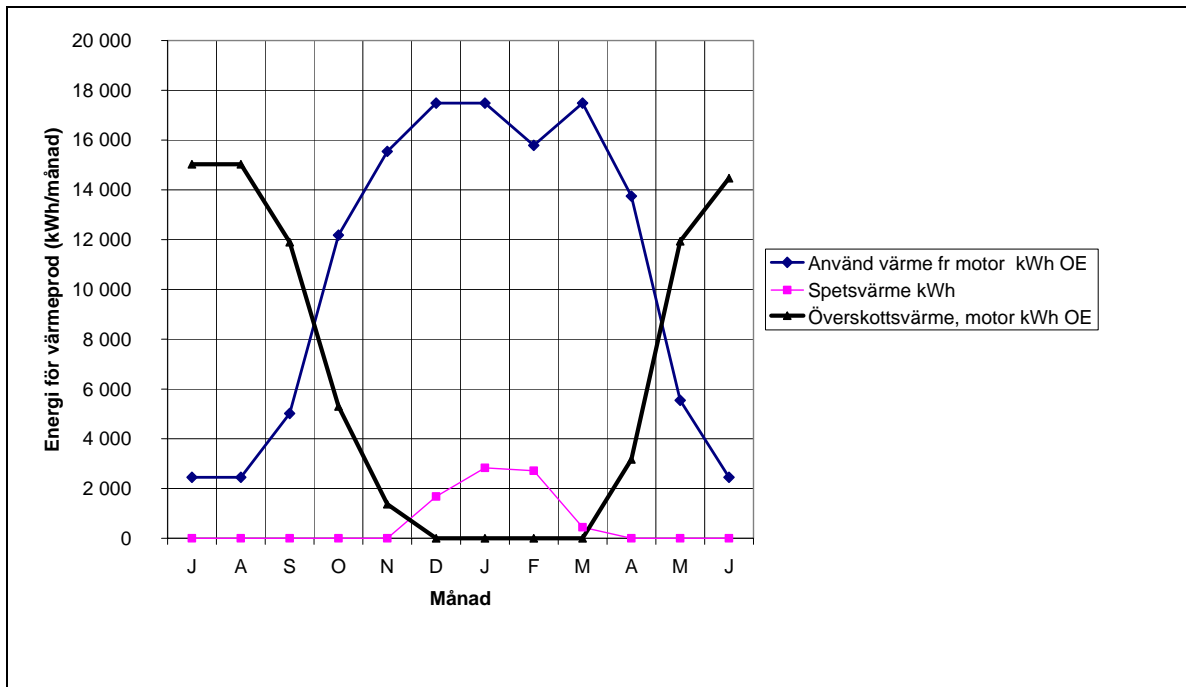


Bild b1:6. Totalt energibehov för uppvärmning (inkl tappvarmvatten) per månad, biogasöverskott (av nettoproduktionen) per månad samt energibehov via spetsvärme.

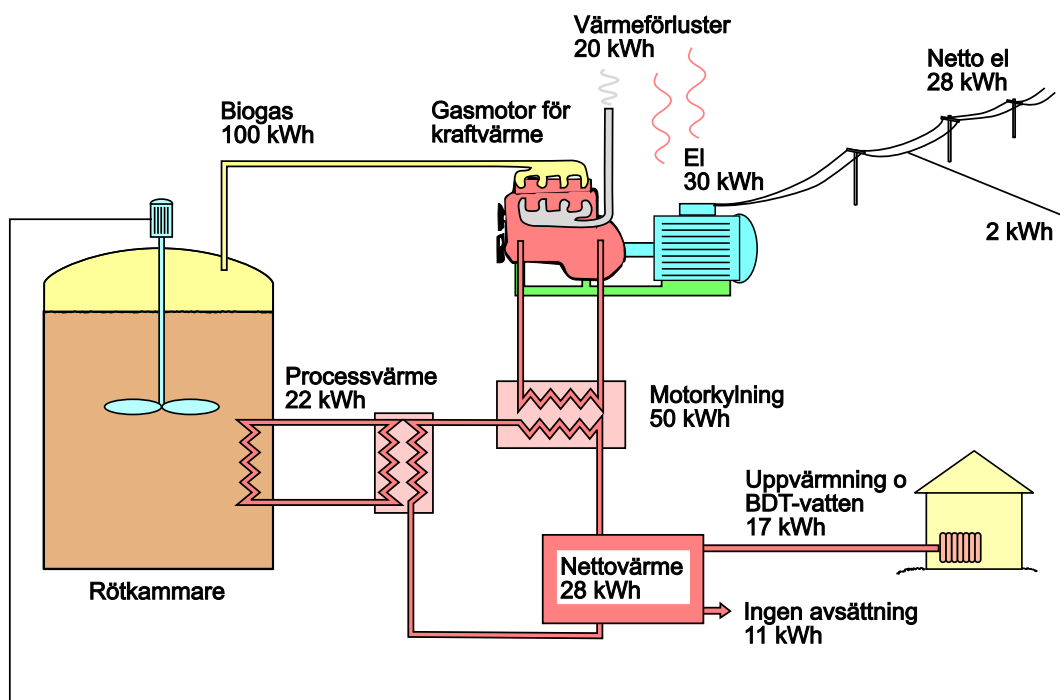


Bild b1:7. Principbild över hur el och värmeproduktionen används vid kraftvärmeproduktion för typlanläggning 2.



## Använda nyckeltal

### Produktion av gödsel

Flytgödsel från mjölkkor: 20ton flytgödsel/mjölko & år (Steieck m.fl., 2000 & Eder m.fl., 2006)

Fastgödsel från nötkreatur: 10,6 m<sup>3</sup> fastgödsel/mjölko & år (Uppskattningar utifrån Salomon m.fl. (2006).

Flytgödsel från slaktsvin: 1,6 ton flytgödsel/djurplats och år (Steieck m. fl., 2000 & Eder m. fl., 2006)

### Skördenivå

Vallgröda, Mälardalen: 7,5 ton ts/ha & år (Sundberg, pers. medd., 2007).

Majsensilage i Mälardalen, gynnsamma mark- och lokaliseringsförutsättningar: 12 ton ts/ha & år (Thorell, pers. medd., 2006).

Spannmål (Normskörd för vete i Östergötland): 5,0 ton ts/ha & år (SCB, 2007).



## Beräkning av rötrestproduktion och växtnäringsutnyttjande

Vid beräkning av rötrestens innehåll av ammoniumkväve görs antagande för varje delsubstrat hur dess innehåll av ammoniumkväve (och organiskt bundet kväve) förändras i jämförelse med det totala kväveinnehållet efter rötning.

### Mineralisering i huvudrötkammare

Rötning av fast- och flyt gödsel: Rötning av gödseln antas medföra att innehållet av ammoniumkväve ökar med 5 procentenheter i jämförelse med redovisat innehåll av ammoniumkväve i tabell 5.

Rötning av energigröda och avfall: Efter rötning antas hälften av totala kväveinnehållet från föreliggande i form av ammoniumkväve och resten som organiskt bundet kväve (jämför med tabell 5).

### Mineralisering i efterrötkammare

För typanläggningarna 3a–3c finns ett efterröttningssteg som antas resultera i att innehållet av ammoniumkväve ökar med 2 procentenheter i jämförelse med innehållet av ammoniumkväve i slammet som finns i huvudrötkammaren.

### Avvattning

Typanläggning 3a innehåller ett avvattningssteg som genererar en fast och en flytande rötrest. Delar av den flytande rötresten återförs till substratblandningsbehållare för att sänka ts-halt dels för att möjliggöra pumpning in i rötkammaren, dels underlätta omblandning av huvudrötkammaren. I dessa beräkningar antas att:

- Ts-halt hos flytande rötrest blir 4 % efter avvattning
- Ts-halt hos fast rötrest blir 25 % efter avvattning
- Avvattningen antas resultera i att 40 % av organiskt bundna kvävet återfinns i fasta fasen och 60 % i vätskefasen
- Avvattningen antas resultera i att vattenlösliga växtnäringsämnen som ammoniumkväve och kalium fördelas i den fasta och flytande rötresten utgående på massflödesbasis, vilket resulterar i att koncentrationen (våtviktbasis) för dessa två växtnäringsämnen är lika stor för den fasta som den flytande rötresten.

Dessa antaganden resulterar i att:

- 33 % av den vätskefas som erhålls vid avvattningen återförs till substratblandningsbehållare för att sänka ts-halt och resterande överskott lagras tills nästa spridningstillfälle uppkommer.
- 23 % av våtvikten av den rötrest som används som gödselmedel återfinns i den fasta rötresten och resterande i överskottet av vätskefas.
- 64 % av den kvarvarande torrs substans återfinns i den fasta rötresten och resterande i överskottet av vätskefas.

### **Kväveförluster vid lagring och spridning**

Beräkning av kväveförlusterna baserar sig på Rodhe m.fl. (2006) med följande antaganden:

- Vid lagring av flytande rötrest och flytgödsel antas förlusten av ammoniumkväve motsvara 1 % av det organiska gödselmedlets totala kväveinnehåll
- Vid lagring av fast rötrest och fastgödsel antas förlusten av ammoniumkväve motsvara 20 % av det organiska gödselmedlets totala kväveinnehåll
- Vid spridning av flytande rötrest och flytgödsel antas förlusten av ammoniumkväve motsvara 7 % av det organiska gödselmedlets innehåll av ammoniumkväve
- Vid spridning av fast rötrest och fastgödsel antas förlusten av ammoniumkväve motsvara 35 % av det organiska gödselmedlets innehåll av ammoniumkväve

### **Växtnäringsutnyttjande**

Växtnäringskalkylerna baserar sig på Rodhe m.fl. (2006) med följande antaganden:

- 1 kg ammoniumkväve i rötrest ersätter 1 kg nitratkväve i mineralgödsel
- 6 % av det organiskt bundna kvävet kommer via markprocesser att bli tillgängligt för växterna och ersätta nitratkväve i mineralgödsel
- 1 kg fosfor i rötrest ersätter 1 kg fosfor i mineralgödsel
- Det antas att det förligger en betydande minerlasiering av kalium från mark i spridningsområdet. Därför antas att 43 % av kaliumet kommer att ersätta kalium i mineralgödsel.

## Värdering av rötrest

### Pris på mineralgödsel

Vid beräkningen av växtnäringsvärdet relateras de organiska gödselmedlens gödseffekt i relation till mineralgödsel. Priset för mineralgödsel har i de ekonomiska kalkylerna antagits vara enligt följande:

- 14 kr/kg kväve
- 17 kr/kg fosfor
- 6 kr/kg kalium

### Mängden rötrest som belastar ekonomisk kalkyl

Den totala produktionen av rötrest beräknas via massbalanser genom den rötad mängden råvaror minskas med biogasproduktionen för respektive typanläggning. Vid de ekonomiska kalkylerna används enbart den förändrade mängderna av fast och flytande organiskt gödselmedel som hanteras för respektive typanläggning. Med förändrad mängd organiskt gödselmedel menas differensen mellan totala rötrestproduktionen och den mängden gödsel som rötas. Denna differens innebär en merkostnad för hantering jämfört med de kostnader som lantbrukarna hade för gödseln innan biogasanläggningen byggdes

### Kostnader för spridning

I spridningskostnaden inkluderas kostnad för att fylla gödselspridare med rötrest från lager, transportera rötrest från lager till fält för spridning, sprida den samt returtransport från fält till lager. Beräkning av spridningskostnaderna baserar sig på Rodhe m.fl. (2006) och nedan redovisas några av de viktigaste förutsättningarna:

- Spridningskostnaden för flytande rötrest antas vara 29,2 kr/ton för en släpplangsspridare som lastar 15 m<sup>3</sup>.
- Medeltransportavstånd mellan lager och fält vid spridning av flytande rötrest antas vara 1,6 km.
- 2/3 av flytande rötresten sprids i växande gröda under våren och 1/3 under hösten före sådd
- De markpackningsskador som uppkommer vid spridning av flytande rötrest leder till minskad skörd vilket antas värderas till en markpackningskostnad på 7,5 kr/ton rötrest.
- Spridningskostnaden för fast rötrest antas vara 17,3 kr/ton för en fastgödselspridare som lastar 8,6 ton
- Medeltransportavstånd mellan stuka med fast rötrest och fältet där den sprids antas vara 200 meter.
- Den fasta rötresten sprids under hösten och brukas ner via plöjning (50 % av mängden) eller harving (50 % av mängden).
- De markpackningsskador som uppkommer vid spridning av fast rötrest leder till minskad skörd vilket antas värderas till en markpackningskostnad på 2,6 kr/ton rötrest.

## Kostnader för transport

Kostnaderna för transport baserar sig på antagandena att:

- All flygödsel som antas behövas produceras i anslutning till biogasanläggningarna för alla typanläggningar.
- Att det finns tillräckligt med spridningsareal anslutning till typanläggningarna 3a–3c så att det inte uppkommer någon extra transportkostnad för den flytanade rötresten. Det ska noteras att det i spridningskostnaden inkluderas en transport mellan lager och fält som i medel antas vara 1,6 km.
- Transportkostnaden för fast rötrest och fastgödsel sker via tur och returtransporter med medeltransportavstånd på 4 km. De fasta fraktionerna lastas i containrar som också nyttjas för transport. Vid varje lass transporteras 14 ton åt respektive håll. Kostnaden för dessa tur- och returtransporter har beräknats till 16,7 kr per ton fast rötrest.

## Klimatgasutsläpp

Elektricitet som behövs för att normera systemen antas genereras via kolkondenskraftverk. Emissionerna har satts till 239 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/MJ el (Buhre m.fl., 1997).

Då biogas ersätter fossila flytande bränslen minskar utsläppen av koldioxid med (Uppenberg m. fl., 2001):

- 75 g CO<sub>2</sub>/MJ använd olja
- 74 g CO<sub>2</sub>/MJ använd bensin
- 5,9 g CO<sub>2</sub>/MJ utvunnen olja inkl. transporter och raffinaderi
- 5,3 g CO<sub>2</sub>/MJ utvunnen bensin inkl. transporter och raffinaderi

Energiinnehåll i metan är 35,33 MJ/nm<sup>3</sup>

Densitet för metan är 0,708 kg/nm<sup>3</sup>

### B<sub>0</sub>-värde

Den potentiell metangasproduktion som har används under denna studie för gödsel (benämns här efter B<sub>0</sub>) finns redovisad i tabell b5:1.

Det skall dock noteras att den i tabell b5:1 angiva B<sub>0</sub>-värdet för gödsel skiljer sig åt något i jämförelse med de av IPCC som ett standardvärden för flytgödsel. Dessa använda värden baserar sig på egna och erfarenheter från satsvisa rötningsförsök och data redovisat i rapporter och artiklar. Naturligtvis påverkas resultatet av vilket B<sub>0</sub>-värde som används.

Tabell b5:1. Använda B<sub>0</sub>-värden i kalkyler gällande utsläpp av metan från lager.

	Avfall	Vall	Flytgödsel, nöt	Flytgödsel, svin	Fastgödsel, nöt	
B <sub>0</sub> efter Rötkammare 2	0,017	0,012	0,008	–	0,0074	nm <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /kg VS i ursprungsråvaran (dvs. innan rötning)
B <sub>0</sub> efter Rötkammare 1	0,104	0,072	0,048	0,05	0,0444	nm <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /kg VS i ursprungsråvaran (dvs. innan rötning)
Antaget B <sub>0</sub> -värde innan rötning	0,536	0,372	0,248	0,30	0,2294	nm <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /kg VS i ursprungsråvaran (dvs. innan rötning)

### Verkan av andra klimatgaser än koldioxid

För att kunna beräkna den samlade effekten av dessa klimatgaser på växthus-effekten har metan och lustgas räknats om till koldioxidekvivalenta utsläpp enligt:

Metan: CO<sub>2</sub>-ekv. = CH<sub>4</sub> \* 21

Lustgas: CO<sub>2</sub>-ekv. = N<sub>2</sub>O \* 310

### **Metanemissioner vid lagring**

I denna studie har IPCC:s standardvärde för MCF på 10 % för att beräkna metanemissionerna vid gödsellagring av flytgödsel utan membran vid kallt klimat.

Vidare har standardvärde för MCF på 2 % för att beräkna metanemissionerna vid lagring av fastgödsel vid kallt klimat (Dusten, 2002).

### **Lustgasemissioner vid lagring av gödsel och rötrest**

Vid lagring av flytande rötrest i lagerbehållare, som byggs i anslutning till att typ-anläggning 3a–3c uppförs, antas ske med gastätt membran och där antas inte ske några lustgasemissioner. Vidare antas att lustgasemissionerna är lika stor från de befintliga gödsellagren oavsett när de användes för att lagra gödsel (innan biogas-anläggning uppfördes) som när de lagrar flytande rötrest.

I alternativ 3a genereras en fast rötrest. Denna mängd är dock nästan exakt lika stor som den mängden fastgödsel som rötas. Det gör antagandet att utsläppen av lustgas är lika stor vid lagring av dessa två organiska gödselmedel.

Vid produktion av värme alternativt kraftvärme med biogas antas 1 % av gasen emitteras som oförbränd (Börjesson, pers. medd., 2008).

Vid produktion av drivmedel från biogas antas 2 % av gasen emitteras som oförbränd (Börjesson, pers. medd., 2008).

### **Odling av energigröda och användning av biogas**

Beräkningarna bygger på data från följande referenser som räknats om avseende bränslecykelemissioner från el (baserat på naturgas i ursprungliga data men här omräknade till att gälla biogasbaserad el, alt. svensk medel):

- Börjesson P. och Berglund M. (2003)
- Börjesson P. and Berglund M. (2006)
- Börjesson P. and Berglund M. (2007)

### **Klimatgasutsläpp vid tillverkning av handelsgödsel**

N<sub>2</sub>O-N-emission vid tillverkning av handelsgödselkväve sätts till 1,1 % av kväve-mängden i handelsgödsel.

CO<sub>2</sub>-utsläpp vid produktion av handelsgödselkväve har satts till 3,34 kg/kg N (Davis m.fl., 1999).

#### **1b) Odling av vete, majs och vall**

Emissioner består dels av CO<sub>2</sub>-utsläpp från fossila bränslen (diesel i traktorer m.m., naturgas vid handelsgödselproduktion m.m.) samt N<sub>2</sub>O från tillverkning av handelsgödsel och från mark vid spridning. Emissionsfaktorer för lustgas baseras på IPCC:s senaste rekommendation vilket är:

- N<sub>2</sub>O-N-emission vid tillverkning av handelsgödsel sätts till 1,1 % av kväve-mängden i handelsgödsel. Denna emission används också då för att beräkna klimatpåverkan på effekten av att den rötade gödseln får ett högre kväve-utnyttjande än den orötade gödseln.
- N<sub>2</sub>O-N-emission från mark 1,7 % av tillförd mineral-N.

Energiinsats vid odling:

Vallgröda: 0,413 MWh/ton ts

Majs: 0,495 MWh/ton ts

Vete: 0,656 MWh/ton ts

Utsläpp av koldioxid kopplat till energiinsatsen vid odling har satts till 250 kg CO<sub>2</sub>/MWh

Utsläpp av lustgas från mark har satts till 1,7 % av tillförd handelsgödselskväve (IPCC).

### **Emissionsdata vid rötning och förädling till energibärare (vid/efter reaktorn) samt transport av rötrest**

En viktig faktor som styr emissioner från rötning är vilken typ av energi som används i biogasanläggningen. Här antas att biogas (eller något annat biobränsle) används för värmeproduktion. Elproduktionen baseras på svensk medelalternativt biogasbaserad kraftvärme som har liknande utsläppsvärden avseende växthusgaser. Läckage av metan antas motsvara 1 % vid el- och värmeproduktion respektive 2 % vid drivmedelsproduktion (ytterligare 1 % vid uppgradering). Emissioner vid transport och spridning av rötrest ingår.

Värme:  $5 \text{ g CO}_2 \text{ per MJ biogas} + 200 \text{ mg CH}_4 (1 \%) = 5+4=9 \text{ g CO}_2/0,9$   
(verkningsgrad – gaspanna) = 10 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MJ värme

El:  $5 \text{ g CO}_2 \text{ per MJ biogas} + 200 \text{ mg CH}_4 (1 \%) = 9 \text{ g CO}_2/0,83$  (verkningsgrad gasturbin) = 11 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MJ el och värme (via kraftvärme)

Fordonsgas:  $6 \text{ g CO}_2 \text{ per MJ biogas} + 400 \text{ mg CH}_4 (2 \%) = 6+8= 14 \text{ g CO}_2$ -ekvivalenter per MJ uppgraderad gas.



## Kostnad för lokalt biogasnät

För att hitta en avsättning för biogasen utanför gårdens egna förbrukning kan det vara en lösning att flytta gasen i ett lokalt gasnät. Kostnaden för detta belyses här med ett exempel (Jansson, pers. medd., 2008):

Åtta gårdar bildar en ekonomisk förening för att gemensamt bygga ett lokalt biogasnät. Avsikten är att kunna leverera gasen från deras gårdsbaserade biogasanläggningar till en gemensam försäljningspunkt. Tillsammans producerar de en netto energimängd på 4,5 GWh/år.

### Investeringskostnad för lokalt biogasnät

◇ Grävning	16 000 m x 100 kr*	1 600 000
◇ Sprängning	1 000 m x 1000 kr	1 000 000
Korsning av hinder		
◇ lokala asfaltsvägar	15 st x 20 000 kr	300 000
◇ mindre grusvägar	3 st x 12 000 kr	36 000
◇ större vattendrag	2 st x 50 000 kr	100 000
◇ mindre vattendrag	6 st x 1000 kr	6 000
◇ el och telekabel	14 st x 1 500 kr	21 000
◇ rep. dräneringar	50 st x 800 kr	40 000
◇ större trummor	2 st x 10 000 kr	20 000
◇ Slang	63 mm x 16 000 m	720 000
◇ Svetsning av slang	300 kr var 50 m	96 000
◇ Utsättning, ledningsrätt, fastighetsförätning, provtryck		480 000
◇ <u>Torkanläggning av gas</u>		<u>600 000</u>
◇ Summa investering		5019 000 kr

\* En stor och avgörande del av kostnaderna för ett gasnät är grävningen. I detta fall beräknas grävningen ske till större del i åkermark.

### Årlig kostnad för lokalt biogasnät

◇ Avskrivning	25 år	200 760
◇ Ränta (medelkalkyl)	6 %	150 570
◇ Underhåll	1 %	50 190
◇ Driftskostnader el	3 % x 4,5 GWh x 0,6 kr/kWh	81 000
◇ <u>Skötsel administration m.m.</u>		<u>50 000</u>
◇ Summa årlig kostnad		532 250 kr
◇ Kostnad fördelat per levererad energimängd (4 500 000 kWh)		0,12 kr/kWh





## **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...**

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på [www.jti.se](http://www.jti.se)

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

*JTI-informerar*, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4–5 teman/år).

*JTI-rapporter*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,  
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: [bestallning@jti.se](mailto:bestallning@jti.se)



**JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik**

JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA      Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4      Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: [www.jti.se](http://www.jti.se)