

---

---

*Rapport SGC 178*

# **Biogasanläggningar med 300 GWh årsproduktion – system, teknik och ekonomi**

©Svenskt Gastekniskt Center – September 2007



Källa: NAWARO® BioEnergie Park, Klarsee GmbH, Krackow

Johan Benjaminsson  
Marita Linné  
BioMil AB

## **SGC:s FÖRORD**

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida [www.sgc.se](http://www.sgc.se).

SGC är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare:

Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

E.ON Gas Sverige AB  
Göteborg Energi AB  
Öresundskraft AB  
Lunds Energikoncernen AB  
Svenska Gasföreningen  
Lantbrukarnas Riksförbund  
AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad  
Dansk Gasteknisk Center a/s  
Svensk Biogas i Linköping AB  
Nordvästra Skånes Renhållnings AB  
Malmberg Water AB  
Läckeby Water AB  
Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

## SAMMANFATTNING

I rapporten har system, teknik och ekonomi för storskaliga biogasanläggningar med 300 GWh gasproduktion per år undersökts. Konceptet finns ännu inte i Sverige men i Tyskland står en bioenergipark färdig hösten 2007 där 450 GWh biogas produceras per år.

Aktuellt substrat för 300 GWh gasproduktion är grödor och arealbehovet är omkring 6 000-11 000 hektar för ensilagegrödor som majs eller vall i södra Sverige. Om gasproduktionen baseras på spannmål blir arealbehovet omkring 14 000 hektar. Vid rötning av ensilage fås således ett större gasutbyte per hektar än då spannmålskärna rötas.

Enligt beräkningar i rapporten har kostnaden för spannmål större påverkan på gaspriset än vad kostnaden för ensilage har. Dock finns spannmål lätt tillgänglig på världsmarknaden medan rötning av ensilage kräver långa kontrakt med lantbrukare i närheten av biogasanläggningen i tillägg till ett omfattande logistiksystem. Noteringen för spannmål i slutet av 2006 inverkar på gaspriset med cirka 0,38 kr/kWh.

Genom storskaliga hanteringssystem för ensilagegröda samt en växtföljd som medger att ensilage sommartid förs direkt från fält till biogasanläggning kan kostnader minska. Kostnad för ensilage beräknas påverka gaspriset med omkring 0,28 kr/kWh. Prisutveckling för spannmål och ensilage kan förväntas utvecklas i takt med varandra. Inför 2008 ser spannmålspriset ut att stiga jämfört med 2006/2007.

Utvecklad rötningsteknik vid biogasanläggningen i Norrköping där spannmålsrens och drank rötas medger en organisk belastning på 6 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym, dygn. Det gör att röt-kammaren kan byggas relativt liten. I Tyskland rötas främst ensilagegrödor och tvåstegsrötning med en första liggande kammare medger en belastning på cirka 4 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym, dygn och en TS-halt på 12 %. Kostnad för rötning av gröda beräknas bli omkring 0,13 kr/kWh.

Vid anläggningen bildas det stora mängder rötrest. Mekanisk avvattning är lämplig eftersom en del vätska då kan återföras för spädning. Den fasta fosforrika fraktionen kan transporteras ut till lantbruk och därefter spridas i samband med höst- eller vårsådd. Det kan även vara aktuellt med pelletering. Den flytande fraktionen har ett högt innehåll av ammoniumkväve och lämpar sig för spridning i växande gröda. I Tyskland finns tekniker där den flytande fasen separeras i två fraktioner: en mer koncentrerad kvävelösning samt till rent vatten. I rapporten bedöms rötrest på sikt inte innebära större kostnader än dess intäkter.

Uppgradering har stora skalfördelar och har beräknats till 0,05-0,06 kr/kWh. Med utvecklade industriella processlösningar kan kostnaden förväntas sjunka ytterligare.

Sammantaget uppskattas gaspriset vid tankstation bli 0,74 kr/kWh exkl moms från storskalig rötning av spannmål medan motsvarande kostnad med rötning av ensilage blir 0,64 kr/kWh exkl moms. Snittpriset på fordonsgas är i dag omkring 0,74 kr/kWh exkl moms vilket gör att rötning av grödor kan vara intressant.

Rapporten har visat att biogas är möjlig att producera i stor omfattning och att skalfördelarna gör biogasproduktion intressant, särskilt i jämförelse med etanolproduktion.

## ABSTRACT

Systems, techniques and economy have been analysed for biogas plants with more than 300 GWh annual energy productions. There is so far no such concept in Sweden but in Germany, a so called biogas park with 450 GWh annual biogas production will be set in operation by autumn 2007.

Substratum for 300 GWh gas production are crops which corresponds to a acreage need of 6000-11000 hectares for silage crops such as maize or grass. If the gas production is based on corn, the acreage need is about 14 000 hectares. That means that biogas production from silage gives a higher energy outcome per hectare in comparison to grain.

According to calculations, grain affects the gas price more than silage. However, grain is easy available at the world market which can be related to digestion of silage that means long term contracts with farmers nearby the biogas plant in addition to a complex logistic system for supply. The grain price by end of 2006 affects the gas price with about 0,38 kr/kWh.

Large scale harvesting and transportation of silage in addition to a system for different crops to be harvested and transported directly to the digestion chamber admit reduced handling cost. Silage is expected to affect the gas price with about 0,28 kr/kWh. The price development of grain and silage can be expected to follow each other. The grain prices for 2008 seems to be higher than the notations for 2006/2007.

Developed technique for digestion of grain admits 6 kg DM<sub>o</sub>/m<sup>3</sup> chamber volume, 24 hours. That means reduced size of the digestion chamber in comparison to conventional digestion technique. In Germany where silage is the main substratum, two stage digestion with a first laying chamber admits 4 kg DM<sub>o</sub>/m<sup>3</sup> chamber volume, 24 hours and DM-content of 12 %. The specific digestion cost for crops is about 0,13 kr/kWh.

Huge amounts of digestion residue have to be handled. Dewatering makes sense since the digestion process needs additional water. The phosphorous solid fraction can be transported to farmers and spread out before sowing. Further treatment with production of pellets is an alternative for the solid fraction. The liquid fraction has a high ammonium nitrogen content and is suitable to spread out to a growing crop. In Germany, there are separation techniques available where pure water and a N-solution are extracted from the liquid fraction. The incomes from the digestion residue are expected to correspond to its handling costs in the lung run.

Biogas upgrading has considerable economics of scale and has been estimated to 0,05-0,06 kr/kWh. Developed industrial processes for large scale biogas upgrading are expected to reduce the upgrading costs further.

The total gas price at a vehicle gas station is estimated to 0,74 kr/kWh exkl VAT from large scale biogas production based on corn and 0,64 kr/kWh exkl VAT based on silage. The vehicle gas price today is about 0,74 kr/kWh which may make digestion of crops interesting.

This report has shown that biogas can be produced in a sizeable scale and that the economics of scale make biogas production interesting, especially in comparison with ethanol production.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund och målsättning.....	1
1.2	Projektets genomförande .....	1
1.3	Avgränsningar .....	2
1.4	Innehåll .....	2
<b>2</b>	<b>RÅVARA FÖR BIOGASPRODUKTION -GRÖDOR .....</b>	<b>3</b>
2.1	Substrat för stor biogasproduktion .....	3
2.2	Arealbehov och hanteringsmängder för grödor.....	4
2.3	Odling av grödor till biogasproduktion .....	5
2.3.1	Odling av spannmål .....	5
2.3.2	Odling av majs .....	5
2.3.3	Inslag av vall.....	5
2.3.4	Helsädesensilage från rågvete eller höstvete .....	5
2.3.5	Socketbetor .....	5
2.3.6	Ekologisk växtodling.....	6
2.3.7	Double-cropping.....	6
2.3.8	Växtföljd för biogasproduktion.....	7
2.4	System för spannmål.....	8
2.4.1	Lagring och distribution av spannmål .....	8
2.4.2	Pris på spannmål .....	10
2.5	System för ensilage .....	12
2.5.1	Skörd, lagring och distribution av ensilage .....	12
2.5.2	Pris på ensilage.....	14
<b>3</b>	<b>RÖTNINGSTEKNIK.....</b>	<b>18</b>
3.1	Rötning av spannmål.....	18
3.2	Kostnad för rötning av spannmål.....	19
3.3	Rötningsteknik för ensilage .....	20
3.3.1	Liggande rötchammare .....	20
3.3.2	Låg stående rötchammare .....	21
3.3.3	Hög stående rötchammare.....	21
3.3.4	Torrötning.....	21
3.4	Kostnad för rötning av ensilage.....	22

<b>4</b>	<b>RÖTREST .....</b>	<b>23</b>
4.1	Mekanisk avvattning och återföring av rötrest för spädning.....	23
4.2	Lagring av rötrest.....	25
4.3	Spridning av rötrest .....	26
4.3.1	Spridningsareal .....	27
4.4	Distribution av rötrest.....	28
4.4.1	Utkörning med lastbil.....	28
4.4.2	Utpumpning av rötrest till satellitlager .....	29
4.5	Förädling av rötrest.....	30
4.5.1	Pelletering av fast fas.....	30
4.5.2	Uppdelning i fast fas, flytande N-koncentrat och rent vatten .....	32
4.5.3	Ammoniumsulfat från rötrest genom kvävestrippning.....	33
4.6	Rötrestens marknadsvärde .....	34
4.6.1	Marknadspris för rötrest .....	34
4.6.2	Intäkter och kostnader för rötrest .....	35
<b>5</b>	<b>UPPGRADERING.....</b>	<b>36</b>
5.1	Kostnad för uppgradering.....	36
<b>6</b>	<b>GASDISTRIBUTION OCH TANKSTATIONER.....</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>BEFINTLIGA PRODUKTIONSKONCEPT MED ÖVER 300 GWH ÅRSPRODUKTION AV BIOGAS.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>JÄMFÖRELSE MELLAN ETANOL- OCH BIOGASPRODUKTION.....</b>	<b>41</b>
8.1	Nettoutbyte av energi per hektar .....	41
8.2	Produktionskostnad för etanol respektive biogas.....	42
<b>9</b>	<b>RESULTAT.....</b>	<b>43</b>

# 1 INLEDNING

Det i särklass dominerande drivmedlet till transporter utgörs i dag av bensin och diesel. De flesta länder erkänner att koldioxidutsläpp från fossila bränslen starkt bidrar till växthuseffekten och det finns ett behov att få fram koldioxidneutrala drivmedel. Biogas som uppgraderas till drivmedelskvalitet ger inte atmosfären något nettotillskott av koldioxid.

Metan från rötning och förgasning ger ett stort utbyte av energi per arealenhet och har därmed potential att ersätta en betydande del av dagens fossila drivmedel. I rapporten utreds system för storskalig framställning av biogas genom rötning av grödor.

## 1.1 BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING

I flera studier har jämförelser gjorts avseende energiutbyte och lönsamhet för framställning av drivmedel från grödor. Ofta har biogas producerad i liten skala på gårdsnivå jämförts med etanolproduktion producerad i industriell skala. På grund av lägre produktionskostnad, bättre avsättningsmöjligheter och ett högre energipris för etanol än uppgraderad biogas har slutsatsen dragits att etanol är väl lämpat som ersättning till bensin, trots att studier visar att biogas ger ett större utbyte av energi per arealsenhet och per kg gröda. I föreliggande rapport är en utgångspunkt att titta på möjliga och redan existerande produktionskoncept för framställning av biogas i samma storleksordning som etanolproduktion. Därmed förväntas uppgraderad biogas få en lägre produktionskostnad per energienhet i jämförelse med etanolproduktion.

I Sverige har stora satsningar gjorts för framställning av etanol. Lönsamheten för etanolproduktion grundas delvis på låga spannmålspriser samt avsättning för drank som djurfoder<sup>1</sup>. Med en alltmer mättad marknad för drank blir det aktuellt med biogasproduktion av biprodukten. En frågeställning som ligger till grund för rapporten är om det kan vara större lönsamhet med att producera endast biogas från gröda och inte först etanol och därefter biogas.

## 1.2 PROJEKTETS GENOMFÖRANDE

Information har inhämtats från rapporter samt genom att leverantörer av substrat, maskiner och anläggningar kontaktats. Uppskattning av kostnader bygger på beräkningar samt information från leverantörer. Kapitalkostnad beräknas med annuitetsmetoden med avskrivningstid 20 år och annuitetsränta 6 %. Elkostnad har satts till 0,65 kr/kWh och värmekostnad till 0,3 kr/kWh.

En referensgrupp bestående av Pål Börjesson från Lunds Universitet, Lars-Gunnar Johansson från LRF, Staffan Ivarsson från E.ON Gas Sverige AB samt Corfitz Nelsson från SGC har vid två tillfällen träffats för att diskutera rapportens innehåll.

---

<sup>1</sup> Drank är en biprodukt från etanolproduktion.

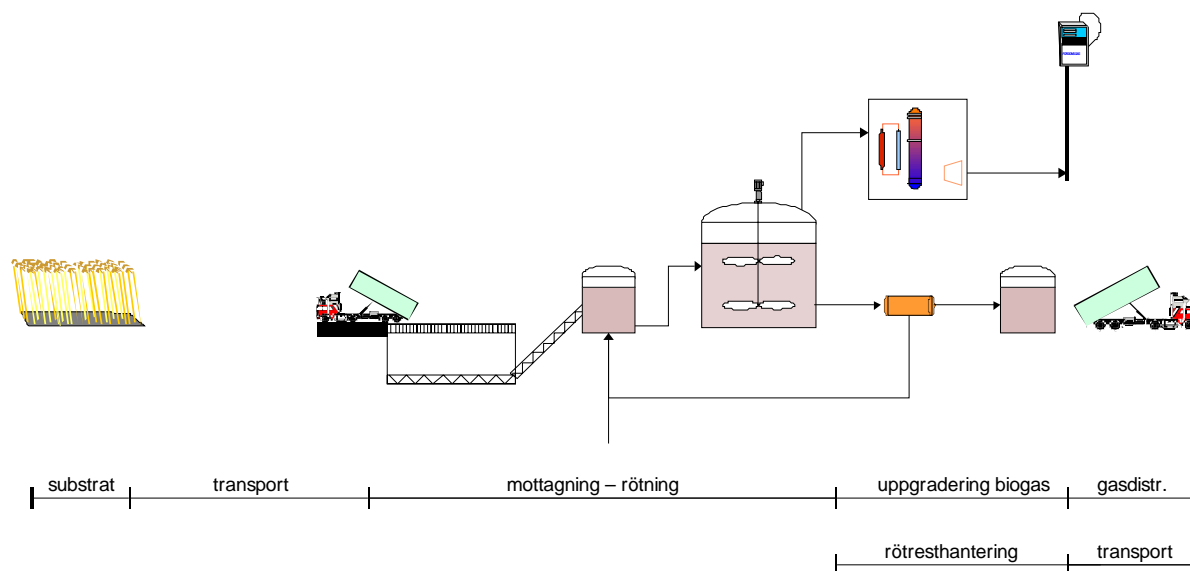
### 1.3 AVGRÄNSNINGAR

Rapporten behandlar system, teknik och ekonomi för biogasproduktion baserad på grödor. Systemgräns är spannmål levererad till biogasanläggning respektive produktion av ensilage på fält. Utgående systemgräns är rötrest distribuerad till lager hos lantbrukare respektive i förekommande fall pellets med 97 % TS-halt.

### 1.4 INNEHÅLL

I rapporten utreds teknik och kostnader för biogas producerad av grödor. Det finns två huvudinriktningar som utreds. Antingen rötning av enbart spannmål eller rötning av ensilage från olika ensilagegrödor. Oberoende vilken gröda som rötas ska biogasproduktionen vara 300 GWh per år. Rapporten behandlar i skilda kapitel substrat/råvara, rötningsteknik, hantering av rötrest, uppgradering och gasdistribution. Därtill görs känslighetsanalyser för produktion av biogas med förändrade råvarupriser, gasutbyten och kapitalkostnader.

Figur 1 nedan ger en principskiss över konceptet med rötning av grödor med systemets respektive kostnadsställen. Grödan har ett marknadsvärde och därefter läggs en kostnad för transport från fält till biogasanläggning. Mottagningsutrustning, förbehandling, rötning och efterrötning ger produktionskostnad för biogasen. Biogas uppgraderas därefter till fordonsgas enligt svensk standard och leds med gasledning till distributionsnät för gas eller direkt till slutkund. Den stora mängd rötrest som bildats avvattnas och en del av vattnet återförs som spädning. Rötrest förs ut på fälten i avvattnad form eller som pellets. Pellets kan även användas för eldnings.



**Figur 1. Systemlösning för rötning av grödor med konceptets respektive kostnadsställen.**

I rapporten görs uppskattningar för respektive kostnadsställe illustrerat i figur 1. Genom sammanställning av kostnader fås en beräknad produktionskostnad för uppgraderad biogas i stor skala.



## 2 RÅVARA FÖR BIOGASPRODUKTION -GRÖDOR

### 2.1 SUBSTRAT FÖR STOR BIOGASPRODUKTION

Vid en tidigare utförd SGC-studie har den framtida potentialen till biogasproduktion i Sverige från olika substrat undersökts<sup>2</sup>. Resultat från studien visas i tabell 1.

Tabell 1. Uppskattad biogaspotential för olika substrat i Sverige på 10 års sikt.

Substrat	Biogaspotential [GWh/år]
Grödor	>7 000
Gödsel	2 600
Slam	1 000
Organiskt avfall	2 300

Grödor representerar det substrat som kan ge störst biogasproduktion. Genom att använda de 10 % av åkerarealen som är uttagen från produktion kan ca 7 000 GWh biogas produceras. Om odling av gröda till energiproduktion är mer lönsamt än att använda marken för livsmedelsproduktion, så är biogaspotentialen från grödor betydligt större. Gödsel på lantbruk beräknas kunna ge stor gasmängd men en begränsning är att gasproduktionen vid varje gård är låg eftersom gödsel har relativt lågt gasutbyte. Slam och organiskt hushållsavfall rötas på flera platser redan i dag. Industriavfall med högt gasutbyte tas omhand av ett flertal biogasanläggningar i landet och det finns inga uppenbara möjligheter till stor ökad biogasproduktion från industriavfall. För att åskådliggöra att grödor är det substrat som är bäst lämpat för en biogasanläggning med 300 GWh biogasproduktion görs en jämförelse enligt tabell 2.

Tabell 2. Substrat som krävs för 300 GWh årsproduktion av biogas.

300 GWh av:	Motsvarar ungefär
Grödor	6 000-14 000 ha åkermark beroende på gröda
Gödsel	Årlig gödselmängd från 100 000 kor eller 3 000 0000 uppfödda slaktsvin
Slam	Slam från en stad med ca 3 miljoner invånare.
Organiskt hushållsavfall	Organiskt avfall från ca 3 miljoner svenskar.

Slutsatsen är att endast grödor är aktuellt för en biogasanläggning där 300 GWh biogas ska produceras vid ett ställe.

<sup>2</sup> Sammanställning och analys av potentialen för biogasproduktion av förnyelsebar metan (biogas och SNG) i Sverige (2005), M. Linne och O. Jönsson

## 2.2 AREALBEHOV OCH HANTERINGSMÄNGDER FÖR GRÖDOR

Tabell 3 visar substratvikt och åkerareal som krävs för 300 GWh biogasproduktion av respektive gröda från sydsvenska jordar. Det är emellertid möjligt att röta en mix av de olika grödorna.

Tabell 3. Substratvikt och arealbehov för framställning av 300 GWh biogas från respektive gröda.

	Medel-skörd <sup>3</sup> [ton/ha,år]	TS-halt [% av våtvikt]	Metanproduktion [Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton TS]	Substratvikt [ton/300 GWh]	Areal [ha/300 GWh]
Spannmål	7	86	355 <sup>4</sup>	100 000	14 000
Majs	39	32	360	260 000	7 000
Vall	25	35	300	290 000	11 000
Helsädesensilage	30 <sup>5</sup>	32	300	310 000	10 000
Socketbeta (beta + blast)	73	20	340	440 000	6 000

I föreliggande rapport undersöks vilka av ovanstående grödor som är lämpade för storskalig biogasproduktion. Utifrån substratvikt och arealbehov för 300 GWh biogasproduktion kan följande konstateras:

- Minst åkerareal åtgår då majs eller sockerbetar rötas medan arealbehovet är liknande för vall och alternativet med helsädesensilage. Mest areal åtgår vid rötning av spannmålskärnor.
- Då spannmål har en hög TS-halt blir substratvikten som tas in till anläggningen betydligt lägre i jämförelse med rötning av ensilage. Det kan innebära att biogasproduktion av spannmålskärnor får lägre hanteringskostnader än storskalig rötning av ensilage.
- Arealbehovet för rötning av helsädesensilage är lägre än arealbehovet för rötning av spannmålskärna. Det kan innebära att det är lämpligare att skörda spannmålsgrödan som helsädesensilage än att endast röta kärnan eftersom fler kWh energi då fås ut per arealsenhet.

<sup>3</sup> Hushållningssällskapet (2006) *Produktionsgrenskalkyler för växtodling i södra Sverige*

<sup>4</sup> Beräkning BioMil (2007) i samråd med Anneli Christiansson, Svensk Biogas

<sup>5</sup> Nadeau (2007) Effects of plant species, stage of maturity and additive on the feeding value of whole-crop cereal silage.

## **2.3 ODLING AV GRÖDOR TILL BIOGASPRODUKTION**

### **2.3.1 Odling av spannmål**

Spannmålsodling som kan försörja en storskalig biogasanläggning finns främst i södra Sverige söder om Uppsala. Spannmål odlas över hela världen och är en handelsvara med ett världsmarknadspris.

### **2.3.2 Odling av majs**

I Tyskland är biogasproduktion från grödor utbredd och där rötas främst majs. Det är emellertid inte att föredra att odla uteslutande majs på åkrarna, eftersom en ensidig växtföljd av majs kräver mycket ogräsbekämpning<sup>6</sup>. På en gård odlas lämpligen både energigrödor till biogasanläggning samt grödor med konventionell spannmålsproduktion. Det ger en växtföljd där majs och spannmålsgrödor odlas om vartannat.

Enligt Svenska Majs ska det inte vara något problem med en ensidig växtföljd av enbart majs. Effektiva växtskyddsmedel som klarar resistent ogräs är att vänta inom de närmsta åren<sup>7</sup>. Lämpligheten i monokulturer som kräver mycket växtskyddsmedel kan emellertid diskuteras och ett inslag av vall och andra grödor har miljömässiga fördelar.

### **2.3.3 Inslag av vall**

Inslag av vall i växtföljden ger flera fördelar. Det ökar mullhalten i jorden och en växtföljd med inslag av vall ger mindre problem med ogräs. För en ekologisk gård är därför ett inslag med omkring 40 % vall i växtföljden nödvändig för att inte behöva använda växtskyddsmedel. Även för konventionell växtodling är det vanligt med åtminstone en ettårig vall som inslag i växtföljden. Eftersom vissa sorter av vallgröda är kvävefixerande innebär vällen ett nettotillskott av växtnäring till gården.

### **2.3.4 Helsädesensilage från rågvete eller höstvet**

Helsädesensilage skördas normalt i juli under det att kärnorna befinner sig i tidig degmognad. Rågvete och höstvet ger liknande skörd men för sämre odlingszoner och jordar lämpar sig det tåligare rågvetet bättre. Då grödan sås under hösten är det möjligt att så in med vall. Det innebär att kärnor från exempelvis både höstvet och gräs sås in. Eftersom höstvetet är dominerande påverkas inte dess skörd och då vetet är skördat kommer vällen fram och kan skördas senare på hösten. Vall är som bekant en flerårig gröda.

### **2.3.5 Sockerbetor**

I denna utredning är teknik för rötning av hela sockerbetor inte utredd. Betblasten är emellertid lämplig för biogasproduktion och kan slås i samband med betskörden med slaghack och uppsamling i medföljande vagn. Det finns även kombinerade bet- och blastupptagare. Sockerbetor ger relativt mycket biogas per arealsenhet i förhållande till de flesta andra grödor.

---

<sup>6</sup> Källa: Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp

<sup>7</sup> Per-Uno Andersson, Svenska Majs

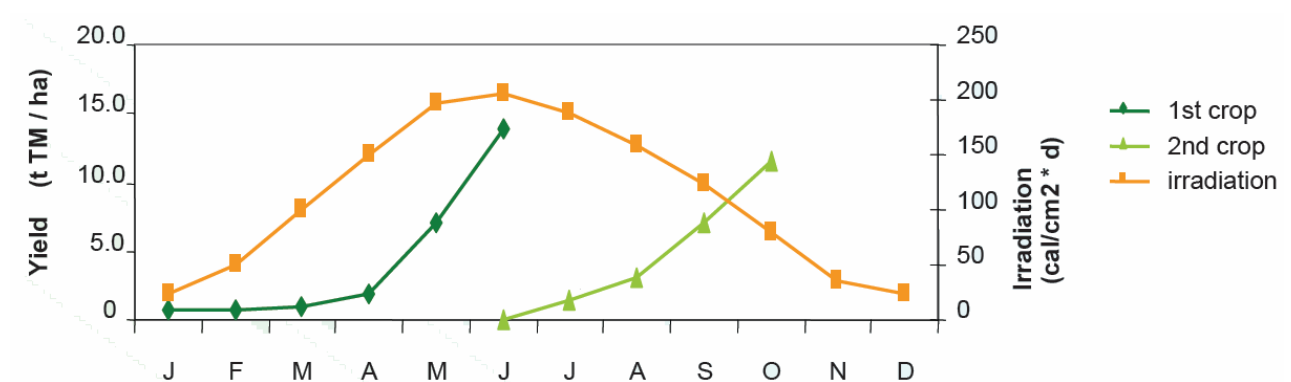
### 2.3.6 Ekologisk växtodling

På senare tid har det blivit allt vanligare med ekologisk odling. Varor som exempelvis är KRAV-märkta har ett högre marknadsvärde än motsvarande konventionella livsmedel och efterfrågan ökar. För ekologisk växtodling utan djurhållning är omkring 40 % inslag av vall nödvändigt för odling utan växtskyddsmedel och dessutom ger vallen nettotillskott av växtnäring. Därför är vall en lämplig gröda till biogasproduktion för ett område där ekologisk växtodling dominerar. Rötresten återförs till marken.

Under 2000-talet har priser på jordbruksprodukter pressats alltmer. Det finns emellertid flera faktorer som tyder på att livsmedel i dag ökar i pris och det är en utveckling som redan börjat<sup>8</sup>. I asiatiska länder som Indien och Kina medför en ökad välfärd att mer resurskrävande livsmedel konsumeras. En annan viktig faktor är att etanolproduktion tar av världens spannmålsöverskott. I praktiken innebär ökade priser på jordbruksprodukter att det på många jordar blir aktuellt att maximera skörden vilket kan betyda konventionell odling. I södra Sverige förväntas stora skördar ge mer intäkter per hektar på högavkastande åkermark än ekologisk odling<sup>9</sup>. Utvinning av handelsgödsel är emellertid energikrävande och stigande kvävepriser kan medföra en ökad andel ekologisk produktion. Det är i slutändan konsumenternas vilja att betala ett högre pris för ekologiska produkter som avgör hur stor andel av jordbruket som kommer att ha ekologisk produktion.

### 2.3.7 Double-cropping

I Tyskland bedrivs forskning kring hur åkerarealens hela växtsäsong bättre kan utnyttjas. Systemet kallas double-cropping och innebär att marken sås in med höstvetete eller rågvete på hösten. Nästkommande år kan således helsädesensilage skördas i juni. Direkt efter ensilageskörd sås majs, hampa eller solrosor vilka skördas i slutet av oktober<sup>10</sup>. Figur 2 åskådliggör konceptet med tyska förhållanden. Den första och andra skörden ger tillsammans nära 25 ton TS/ha,år (i bilden som TM dvs Trockenmasse). Den orange kurvan visar solens intensitet.



Figur 2. Diagram över utbyte från två skördar med hög nyttjandegrad av solljusets intensitet. Tyska förhållanden.

<sup>8</sup> Källa: Mikael Jeppsson, divisionschef Spannmål vid Lantmännen

<sup>9</sup> Källa: Anders Andersson, Yara Landskrona

<sup>10</sup> Köpke (2006), presentation vid Corvinus University of Budapest

Konceptet med double-cropping bedöms främst vara aktuellt för sydligaste delen av landet. Försök i Sverige har visat att majs inte utvecklar någon kolv då den sås för sent<sup>11</sup>.

Något som däremot är aktuellt för större delen av södra Sverige är insådd av vall i spannmålsgröda. Efter att helsädesensilage skördats i juni/juli kan därefter vallen växa till sig fram till hösten. Uppskattningsvis blir höstskörden av vall ca 2,5 ton TS/ha vilket tillsammans med majsskörden ger 15 ton TS/ha, år<sup>12</sup>.

### 2.3.8 Växtföljd för biogasproduktion

Vid SLU i Alnarp bedrivs forskning kring hur växtföljden kan optimeras då grödor odlas<sup>13</sup>. Genom att odla olika grödor som skördas vid olika perioder under växtperioden fås ett högt nyttjande av maskiner och därmed lägre maskinkostnader. En annan fördel är att en del av grödan kan köras direkt in till biogasanläggningen utan mellanliggande ensilering. Figur 3 visar ett förslag till hur majs, vall och helsäd kompletterar varandra genom att ha olika tider för skörd. Genom att även ta in sockerbetor till anläggningen skulle även anläggningen kunna direktförses med gröda från fält under november och december.

	juni	juli	augusti	september	oktober
Majs					
Vall					
Helsädesensilage					

Figur 3. Växtföljd för optimering av maskinutnyttjande och direktskörd till biogasanläggning.

Lantbrukare som kontrakteras att skörda ensilage kommer sannolikt endast avsätta en del av lantbrukets areal för energigrödeproduktion. Således kan då lantbrukare i hög grad sälja majsensilage utan att det blir en alltför ensidig växtföljd.

<sup>11</sup> Per-Uno Andersson, Svenska Majs

<sup>12</sup> Elisabet Nadeau, SLU Skara

<sup>13</sup> Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp

## 2.4 SYSTEM FÖR SPANNMÅL

I kapitlet beskrivs lämpligt system för lagring och distribution av spannmål. Förläggning av biogasanläggning begränsas främst av avsättning för biogas och rötrest samt tillgång till spannmål. Det kan bli aktuellt med rötning av spannmål som kasserats som fodervete. Eftersom det är svårt att beräkna tillgång på kasserat vete förutsätts inköpt spannmål ha foderkvalitet.

### 2.4.1 Lagring och distribution av spannmål

Spannmålskärnor som tröskats torkas i spannmålstork och lagras därefter med 86 % TS-halt. Spannmål kan säljas direkt vid skörd till exempelvis Lantmännen eller Svenska Foder men det är även vanligt att lantbrukare själva förfogar över en spannmålstork. Störst spannmålsproduktion är i högavkastande odlingsområde av spannmål men det kan även vara där som störst efterfrågan finnes. Om anläggningen är förlagd i närhet till hamn kan större partier spannmål köpas in den vägen.

Sverige har i dag en överproduktion av spannmål på omkring 800 000 ton per år. Överskottet är störst i Mälardalen, Östergötland och Västra Götaland medan spannmålsproduktionen i sydligaste Sverige är i balans med efterfrågan. Den biogasanläggning som undersöks i rapporten skulle ta 100 000 ton av dagens överskottsproduktion. Dock planeras flera energiproduktionsanläggningar framöver vilka kommer att ta av överskottet. Utbyggnaden av Norrköpings etanolanläggning har startats våren 2007 och kommer efter färdigställande att köpa in ytterligare 400 000 ton spannmål per år. Även i Sala-Heby, Karlshamn, Karlskoga och Mönsterås planeras etanolanläggningar vilka producerar energi av Sveriges spannmålsöverskott.

#### **Just-in-time leverans av spannmål**

Lantmännen har haft 92 stycken spannmålssilos i Sverige där spannmål kan lagras. Logistiksystemet för insamling av spannmål befinner sig emellertid i en större strukturuomvandling. Medan lantbrukare tidigare kunde leverera spannmål med egen traktorkärra till närmaste spannmålssilo rationaliseras lagringen till att i dag gå med lastbil direkt från gård till slutkund eller större spannmålslager. Figur 4 visar Lantmännens målsättning att på sikt endast ha 15 mottagningssilos för spannmål.



**Figur 4. Framtida spannmålssilos i Lantmännens regi efter strukturrationalisering.**

Lantmännen<sup>14</sup> menar att en spannmålsbaserad biogasanläggning i första hand bör förläggas i närheten till någon av de spannmålssilos som Lantmännen satsar på (markerade i figur 4). På så vis kan Lantmännen förse en biogasanläggning med just-in-time leveranser under hela året och anläggningens lagerkapacitet behöver inte vara större än omkring 2 dygns biogasproduktion. 100 000 ton spannmål per år kan levereras från alla i bild 2 utsatta silos. Det finns även andra spannmålsleverantörer som Svenska Foder och Söderslätts Spannmålsgrupp. Enligt Jeppson kan priset kontrakteras till att följa världsmarknadspris, men det skulle även kunna vara möjligt att delvis binda priset till prisutveckling för råolja.

### **Egen organisation för inköp av spannmål**

Ett alternativ är att själv bygga upp en organisation som handlar upp spannmål från såväl regional marknad som världsmarknad. Varje kvartal skrivs kontrakt där leverantörer förbinder sig att leverera vete under nästkommande kvartal till fast uppgjort pris. En lagringskapacitet på 10 000 ton vete bedöms rimlig till anläggningen vilket ger flexibilitet att kunna köpa in större leveranser från fartyg<sup>15</sup>. Investeringskostnad för silo med kapacitet att lagra 10 000 ton spannmål är omkring 7 Mkr, se tabell nedan. Hela lageranläggningen är väl automatiserad och

<sup>14</sup> Kontaktperson Mikael Jeppsson, divisionschef Spannmål på Lantmännen

<sup>15</sup> Carl-Adam von Arnold, Söderslätts Spannmålsgrupp

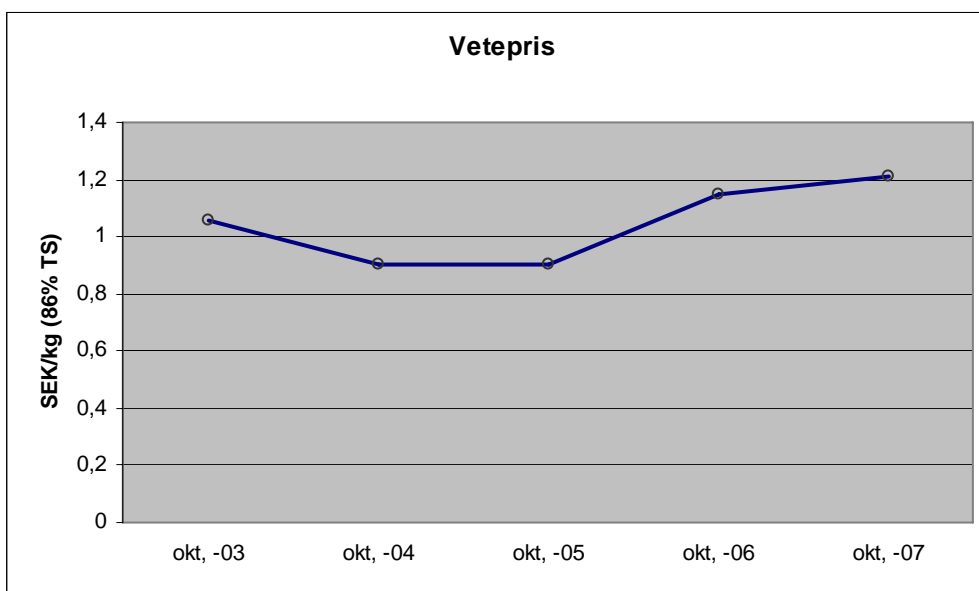
energikostnad härrör främst från hantering av kärnor inom lagret. Spannmål köps in torr med högsta TS-halt 86 % vilket gör att investerings- och driftskostnad för torkning ej ingår.

**Tabell 4. Investeringskostnad för eget spannmålslager.**

Ingående komponenter	Våg Mottagningsficka Transportörer Silos med bottenplattor Fläktar Styrcentral
Investeringskostnad	7 Mkr

## 2.4.2 Pris på spannmål

För rötning av spannmål är sädesslagen vete och rågvetete lämpliga sädesslag. De är båda hög-avkastande och är de mest odlade grödorna i dag. Vete är en råvara som handlas över hela världen och vetepris i Sverige påverkas av rådande världsmarknadspris. I Sverige finns ingen börs för spannmål utan Köpenhamns spannmålsbörs motsvarar prisnoteringen för vete i Skandinavien. För etanolanläggningar har det hittills varit prisnotering i Köpenhamn för fodervete i oktober som fastställer avräkningspris. Priset avser vete levererat med lastbil till uppköpare. Diagram nedan ger oktoberpriset för fodervete under perioden 2003 till 2006. För 2007 gäller notering för terminspris<sup>16</sup> under okt-dec.



Spannmål skördas under hösten och konsumeras därefter under perioden fram till nästa skörd. Det medför en så kallad stafflingskostnad, där priset på spannmålen varje månad efter skörd läggs på med cirka 1 öre/kg TS.

<sup>16</sup> Terminspris Lantmännen för Skåne, ATL 22 maj 2007



Vetepriset var under 2004 och 2005 under 1 kr/kg medan priset på senare tid har stigit. Trots att världens skörd av vete under 2006 var relativt god har priset ökat. Det beror delvis på ökad efterfrågan i Asien samt ökad efterfrågan på vete till etanolproduktion. Mikael Jeppsson, divisionschef för spannmål på Lantmännen, bedömer att spannmålspriset kommer att stanna vid de relativt höga prisnivåer som gäller i dag. Vetepriset enligt notering från Köpenhamn är i dag 1,23 kr/kg<sup>17</sup>. Söderslätts spannmålsgrupp bedömer att det kan bli aktuellt med vetepriser omkring 1,30 kr/kg de närmsta fem åren. Frihandelsorganisationen WTO är pådrivande för att jordbrukssubventioner på sikt ska fasas bort vilket skulle medföra högre spannmålspriser än dagens.

Tabell 5 visar det intervall av priser som spannmål för biogasproduktion kan förväntas ha framöver. Priser avser torkad spannmålskärna levererad till uppköpare. Beräkningar baseras på att gasutbytet är 355 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton TS spannmål.

**Tabell 5. Spannmåls inverkan på gaspriset (kostnad för gasproduktion, uppgradering mm tillkommer).**

Vete [kr/kg]	Vete [kr/kg TS]	Inverkan på gaspris [kr/kWh]
1,10	1,28	0,362
1,20	1,40	0,396
1,30	1,51	0,427
1,40	1,63	0,460

Inom Europa finns i princip ett spannmålsöverskott norr om alperna medan det importeras spannmål i söder. Då spannmål köps in från världsmarknaden är en ungefärlig schablon för fraktkostnad omkring 10-15 €/ton. Om spannmålspriset regionalt skulle öka till ett pris över världsmarknadspriset säkerställer ett förläggande av biogasanläggning i närhet till hamn att priset för spannmål står i nära relation till världsmarknadspris.

---

<sup>17</sup> ATL 22 maj 2007

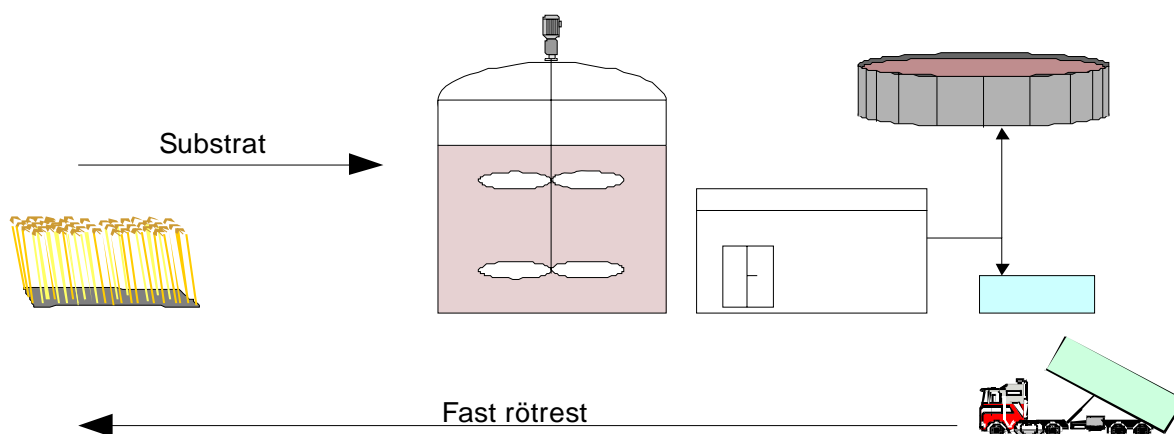
## 2.5 SYSTEM FÖR ENSILAGE

Då ensilage skördas och hanteras för att rötas i biogasanläggning finns flera viktiga kostnadsbesparingar i jämförelse med om ensilaget ska användas till djurfoder. Skillnader i hanterings-system och kostnader redogörs i kapitlet.

### 2.5.1 Skörd, lagring och distribution av ensilage

För att uppnå 300 GWh årlig gasproduktion krävs omkring 280 000 ton ensilage. Beroende på vilken gröda som rötas motsvarar det ett arealbehov på 7 000 till 11 000 hektar. Skörd sker exempelvis med Jaguarhack vilken har en kapacitet på 2 ha/h. Medan majs och helsädesensilage endast skördas en gång skördas vällen 3 gånger per år. Dessutom bör vall slå och förtorkas i ett dygn innan den hackas upp.

För lagring av stora ensilagevolymen är det inte rimligt att ha en silo vid biogasanläggningen där all ensilage lagras. Istället föreslås ett system där lantbrukare ensilerar sin gröda på egna gårdar. Lastbilar kommer därefter och hämtar ensilage hos lantbrukaren någon gång under året. Figur 5 visar logistik för transport av ensilage till rötreaktor. Då lastbilen kör ut för att hämta ensilage kan den vara lastad med avvattnad fast rötrest som ska tillbaka till åkermarken.



Figur 5. Logistik för transport av ensilage till biogasanläggning och fast rötrest ut till fält.

Under perioden juni till oktober kan biogasanläggningen till stor del förses med gröda direkt från åker utan mellanliggande lagring. Det är då viktigt att substratet går direkt in till biogasanläggning innan det hinner värma sig självt och därmed medföra en energiförlust. Under vinterperioden hämtar lastbilar ensilage på gård från silo. Distribution av ensilage med lastbil och släp är att föredra vid längre transporter. För kortare avstånd kan det vara mer effektivt med stora traktorvagnar där upp till 100 m<sup>3</sup> ensilage kan lastas. Se figur 6 och 7.



**Figur 6. Lastbil med lastväxlarflak för distribution av ensilage<sup>18</sup>.**



**Figur 7. Traktorvagn för lastning av 100 m<sup>3</sup> ensilage<sup>19</sup>.**

---

<sup>18</sup> Sweco (2006) Trollhättan/Grästorp

<sup>19</sup> Foto: Anders Ivarsson, Metsjö AB

## 2.5.2 Pris på ensilage

Medan spannmål har ett världsmarknadspris som går att läsa av på spannmålsbörser runt om i världen kan inte pris på ensilage bestämmas på samma sätt. Ensilage är en handelsvara på en lokal marknad. För det enskilda lantbruket kan den egna produktionskostnaden för ensilage sägas motsvara inköpskostnaden. Dock förädlas därefter ensilaget till kött eller mjölk vilket medför att lantbrukaren inte säljer ensilage till ett lägre pris än vad motsvarande förädlingsvinst vid exempelvis mjölkproduktion skulle ge. På samma sätt måste en spannmålsodlare få den avkastning för ensilage som det bästa möjliga odlingsalternativet hade givit.

På grund av överproduktion av spannmål inom EU ska en viss andel av arealen vara uttagen från konventionell produktion. På uttagen areal kan grödor produceras för energiändamål utan att behöva konkurrera med alternativvärdet för åkermarken. År 2005 var den uttagna arealen i Sverige 11 %.

### Ensileringsmedel

En kostnadsfördel för ensilage till biogas i jämförelse med ensilage till djurfoder föreligger eftersom inget ensileringsmedel behövs. Ensileringsmedel tillsätts för att inte riskera att ensilaget blir skadat samt för att öka den tillgängliga mängden protein i fodret. Även mindre mängder av smörtsyra kan förstöra kors mjölk, vilket ger kännbara avdrag i mjölkavräkningspris för lantbrukare.<sup>20</sup> Då biogasanläggningen inte förväntas ta skada av mindre mängder smörtsyra i ensilaget bedöms ensileringsmedel inte behöva tillsättas. Nödvändigheten i att tillsätta ensileringsmedel till foder diskuteras ofta. I Danmark används sällan ensileringsmedel till helsädesensilage. Svenska Majs bedömer att ensileringsmedel för ensilage avsett till biogasproduktion inte är nödvändigt. Tabell 6 ger skattade kostnader för ensileringsmedel som kan uteslutas då ensilage ensileras som substrat till biogasanläggning.

Tabell 6. Kostnader för ensileringsmedel<sup>21</sup>.

	Medel	[kr/kg TS]
Majs	Kofasil	0,161
Vall	Promyr	0,094

Då gräs körs direkt från fält till biogasanläggning är det en optimeringsfråga huruvida ensileringsmedel ska tillsättas. En viss dosering kan löna sig för att förhindra värmning. Om det tar mindre än två timmar mellan skörd och inmatning till biogasanläggning behövs sannolikt inget ensileringsmedel<sup>22</sup>.

<sup>20</sup> Martin Sundberg (2007), forskare om foderkonservering vid JTI

<sup>21</sup> Produktionsgrenskalkyler för växtodling 2006, Hushållningssällskapet

<sup>22</sup> Thomas Pauly (2007), SLU Uppsala

## Ensilering

Under 5 månader per år kan biogasanläggningen huvudsakligen förses med substrat genom direktleverans och för det gräs som då åtgår behövs ingen ensilering. Gräs måste emellertid även ensileras inför drift av biogasanläggning vintertid. En kostnadseffektiv ensileringsmetod är att packa in ensilaget i plastkorvar. Svenska Majs har givit kostnadsuppgifter för metoden enligt tabell 7.

**Tabell 7. Ensileringskostnader för inpackning av ensilage i plastkorv.**

Ensileringskostnader		[kr/kg TS]
ensilage i våtvikt	Ensilage i plastkorv	0,09
	Grusplan	0,01
<b>Summa</b>		<b>0,10</b>

Ensilering innebär förluster i både torrsubstans och energiinnehåll. Dock är förlusten i torrsubstans typiskt omkring 16 % medan energiförlusten är under en procent<sup>23</sup>. Enligt Thomas Pauly är energiförlusten vid ensilering omkring 1-2 %.

## Transportavstånd

För beräkning av medelavstånd från plansilo till biogasanläggning har det antagits att:

- Den verkliga sträckan är 50 % längre än fågelvägen
- 30 % av den omgivande arealen utgörs av åkermark
- varje lantbrukare är i medeltal beredd att använda drygt 20 % av åkermarken till energigröda

Det krävs betydligt mindre areal för att odla majs i jämförelse med om samma gasutbyte ska uppnås med vall. Tabell visar beräknad transportsträcka om uteslutande majsensilage, vall respektive helsädesensilage odlas.

**Tabell 8. Medelavstånd från åker till biogasanläggning.**

	Majsensilage	Vall	Helsädesensilage
[ha/300 GWh]	6 680	11 200	10 400
<b>Medelavstånd till biogasanläggning [km]</b>	19	24	24

För beräkning av körsträcka antas att 50 % majsensilage och 50 % vall odlas. Med nämnd ensilagemix blir medelavståndet från plansilo till biogasanläggning 22 km.

<sup>23</sup> Peter McDonald (1991) *The BioChemistry of Silage*

## Transportkostnad

Transportkostnaden för substrat beräknas från plansilo på lantbruk till biogasanläggning. Beräkning av transportkostnad för substrat levererat till anläggning baseras på:

- Medelavståndet från åker till biogasanläggning är 22 km och lastbilens medelhastighet är 60 km/h
- Lastbilen lastar 36 ton substrat och kostar 750 kr/h<sup>24</sup>
- Lastning och lossning beräknas ta 35 min
- Avstånd mellan plansilo och avstjälpningsplats för fast rötrest är 1 km.
- Pålastning av ensilage sker med hjullastare med kostnad 600 kr/h

Uppskattad kostnad för ensilage levererat från silo till biogasanläggning ges av tabell 9. Då fast rötrest körs ut bekostar rötresten utkörningskostnaden från biogasanläggning ut till lantbruk, förutsatt att fast rötrest kan avstjälpas i närheten av silo. Ensilage förorenas delvis av rötrest men det har ingen betydelse för biogasprocessen. En uppskattad totalkostnad där 2/3 av transporter från biogasanläggning till lantbruk är tomma anges. För vidare förklaring se kapitel om rötrest.

Tabell 9. Transportkostnad för ensilage.

	Transportkostnad, fast rötrest bekostar retur		Transportkostnad, tom retur		Transportkostnad 2/3 av transporter med tom retur	
	[kr/kg TS]	[kr/kWh]	[kr/kg TS]	[kr/kWh]	[kr/kg TS]	[kr/kWh]
<b>Majsensilage</b>	0,077	0,021	0,101	0,028	0,093	0,026
<b>Vall</b>	0,070	0,024	0,092	0,03	0,085	0,028
<b>Helsädesensilage</b>	0,077	0,026	0,101	0,034	0,093	0,031

<sup>24</sup> Nilsson, Johansson (2007) *Transporter i gårdsbaserade biogassystem*

### Pris på ensilage som avspeglar alternativvärde på åkermark

En lantbrukare förutsätts maximera vinsten på åkermarken. Det innebär att den gröda som ger högst vinst från marken kommer att odlas. För att övergå från konventionell odling av spannmålskärna måste exempelvis helsädesensilage ge minst lika stor vinst som den ursprungliga spannmålsodlingen gav. Erforderliga priser på ensilage motsvarande alternativavkastningen för höstvetete 2006 har uppskattats i tabell 10. Beräkningar bygger delvis på Hushållningssällskapetets efterkalkyler för växtodling 2006, mellanskörd i zon 3. I kalkylen ingår energigrödestödet på 45 €/ha samt ett specifikt vallstöd på 300 kr/ha. En genomsnittlig kostnad för ensilage med inslag av direktskörd till biogasanläggning har räknats fram.

Tabell 10. Beräknat pris på ensilage levererat till biogasanläggningen.

	2/3 tomma returtransporter		Exempel, direktskörd av vall och majs samt ensilering av majs	
	Ingen ensilering [kr/kWh]	Med ensilering [kr/kWh]	Ensilering?	Genomsnitt [kr/kWh]
Majsensilage	0,24	0,27	ja + 4 veckor direktskörd	0,26
Vall	0,27	0,30	nej, men 7 veckor direktskörd	
Helsädesensilage	0,29	0,32	-	

2006 var oktoberpriset för fodervete omkring 1,15 kr/kg vilket motsvarar 0,38 kr/kWh. För skörden 2007 ser priserna ut att bli högre. Dock speglar det framräknade priset på ensilage att grödan då har potential att få lägre kostnad per energienhet, främst på grund av att varje hektar då ger fler kWh att fördela produktions- och distributionskostnaderna på.

Tabell nedan visar hur råvarupriset för metan från ensilage varierar med utgångspunkt från att ensilage kostar mellan 0,9-1,2 kr/kg TS levererat till biogasanläggningen.

Tabell 11. Ensilage påverkan på gaspris (kostnad för gasproduktion, uppgradering mm tillkommer).

	Substratkostnad [kr/kgTS]				
	Enhet	0,9	1	1,1	1,2
Majs	[kr/kWh]	0,25	0,28	0,31	0,33
Vall/helsäd	[kr/kWh]	0,30	0,33	0,37	0,40

### 3 RÖTNINGSTEKNIK

För att erhålla en alltmer kostnadseffektiv rötning pågår utveckling där röttningsprocessen optimeras. En god miljö i rötkammaren innebär exempelvis en kol/kväve kvot på minst 15. Då spannmål rötas används i princip samma substrat varje dag och här gäller det att finna en teknik till förbehandling, dosering och omrörning vilken medger hög organisk belastning på rötkammaren, utan att gasutbytet minskar. Då en varierande mix av ensilage rötas bör skiften mellan olika mixer noggrant följas för att inte äventyra gasproduktionen i rötreaktorerna.

#### 3.1 RÖTNING AV SPANNMÅL

##### **Kan spannmål rötas utan tillsats av annat organiskt material?**

Svensk Biogas har under 2006 byggt en biogasanläggning i Norrköping där drank och mald spannmålsrens rötas. Det går bra att röta spannmål och drank där drankens innehåll av jästceller eventuellt har positiv verkan på efterföljande biogasprocess. Försök i labbskala utförda hos Svensk Biogas visar emellertid att det är möjligt att röta spannmål utan tillsats av exempelvis gödsel. Dock har inga försök gjorts under flera år med rötning av 100 % spannmål. Vid försök har röttningsprocessen startats med rötrest från extern biogasanläggning och denna externa tillsats kan ha varit tillräckligt för att processen ska ha tillgång till alla nödvändiga näringsämnen. Christiansson på Svensk Biogas menar att om det inte skulle vara hållbart att endast röta spannmål under lång tid så är det sannolikt mineraltillskott som är nödvändigt för biogasprocessens bakteriekultur. Här gäller det att identifiera vilket ämne som behöver tillsättas. För att spannmål ska ge bra utbyte behöver kärnorna malas väl. Tabell 12 ger information om testresultat från laboratoriet på Svensk Biogas.

**Tabell 12. Resultat från test i labbskala utförda på Svensk Biogas i Linköping<sup>25</sup>.**

Substrat	Vete och råg	
Belastning	5-6	kg VS/m <sup>3</sup> reaktorvolym,dygn
Metanhalt	50-53	vol-% i torr rå biogas
Upphållstid	40	Dygn
TS-halt ingående substrat	<15	% TS
TS-halt i rötreaktor	5-8	% TS
Utbyte	355 <sup>26</sup>	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton TS vete

En stabil drift har påvisats med belastningen 5 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym,dygn. Vid högre belastning finns risk för skumning men Svensk Biogas har förhoppningar att kunna ha belastningen 6 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym,dygn. Normalt beräknas rötreaktorer ha en organisk belastning på 3-4 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym,dygn. Utvecklad rötningsteknik av Svensk Biogas för bland annat dosering och omrörning av substrat gör att stabil drift uppnås vid högre belastning. Det gör att reaktorn kan byggas mindre och således till lägre investeringskostnad. Swedish Biogas International har som affärsidé att garantera den organiska belastningen 6 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolym,dygn då spannmål eller drank rötas<sup>27</sup>.

<sup>25</sup> Enligt samtal med processingenjör Anneli Christiansson och teknisk chef Werner Scheidegger, Svensk Biogas

<sup>26</sup> BioMil AB i samråd med Svensk Biogas

<sup>27</sup> Peter Undén, Swedish Biogas International



### 3.2 KOSTNAD FÖR RÖTNING AV SPANNMÅL

Läckeby Water AB har kalkylerat en biogasanläggning som rötar spannmål. Se tabell 13.

**Tabell 13. Uppskattad drifts- och investeringskostnad för biogasanläggning från Läckeby Water AB.**

Inkommande substrat	100 000	ton vete/år, 86 % TS-halt
Rötkammarbelastning	3	kg VS/m <sup>3</sup> reaktorvolym,dag
Uppehållstid, medel	20	Dygn
Antal rötreaktorer	10	St
Total reaktorvolym	78 000	m <sup>3</sup>
TS-halt reaktor/rötrest:	3-4	%
Investeringskostnad rötning inkl förbehandling, rötning, efterrötning mm.	300	Mkr inkl. Maskin,Bygg,EL-Styr

BioMil AB har kostnadsberäknat en biogasanläggning med driftsparametrar baserade på uppgifter från Svensk Biogas. Se tabell 14.

**Tabell 14. Uppskattning av investeringskostnad med driftsparametrar från Svensk Biogas.**

Inkommande substrat	100 000	ton vete/år, 86 % TS-halt
Rötkammarbelastning	6	kg VS/m <sup>3</sup> reaktorvolym,dag
Uppehållstid, medel	40	Dygn
Antal rötreaktorer	4	St
Total reaktorvolym	42 000	m <sup>3</sup>
TS-halt reaktor/rötrest:	7	%
Investeringskostnad rötning inkl förbehandling, rötning, efterrötning mm.	176	Mkr inkl. Maskin,Bygg,EL-Styr

Rötningskostnad har framtagits med uppskattning av drifts- och underhållskostnad från Läckeby Water AB respektive uppskattningar från BioMil. Se tabell 15.

**Tabell 15. Produktionskostnad för biogas med rötning av grödor.**

	Produktionskostnad biogas [kr/kWh]
Läckeby Water AB	0,14
Utvecklad rötteknik, hög organisk belastning	0,12

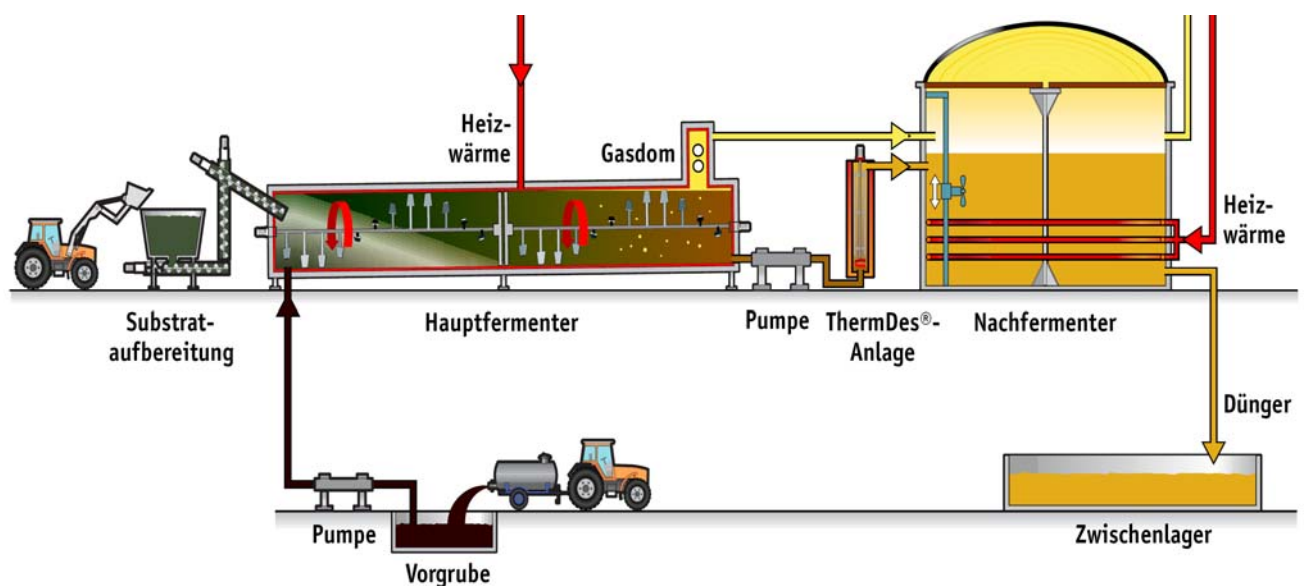
Skillnad i produktionskostnad beror främst på olikhet i organisk belastning för Läckeby Water AB respektive uppskattningar från BioMil. Se tabell 15.

### 3.3 RÖTNINGSTEKNIK FÖR ENSILAGE

Både majs, vall och helsädesensilage är självrotande och kräver exempelvis inte tillskott av gödsel för att jäsa och i röt-kammaren är 6-7 % TS-halt lämplig. Medan majs och helsädesensilage inte kräver något nettotillskott av spädvatten kräver vallen att spädvatten tillsätts. Det beror på att gräsensilage annars inte är pumpbart. Röt-kammarbelastning vid rötning av ensilage är normalt  $4 \text{ kg VS/m}^3$  reaktorvolym, dygn. Vid rötning av ensilage är inblandning och omrörning viktiga funktioner. Annars riskerar ensilage att inte blanda sig med materialet i röt-kammaren utan istället flyta upp till ytan. För en hög gasproduktion är det viktigt med jämn och regelmässig inmatning av liknande substrat. För rötning av ensilage finns i princip tre tekniker<sup>28</sup>:

#### 3.3.1 Liggande röt-kammare

Ensilage och i förekommande fall gödsel förs in till en liggande avlång cylinder i mesofil miljö. Kraftiga omrörare snurrar sakt och för substrat framåt. Eisenmann har utvecklat ett system där substratet värms upp till  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  på vägen mellan huvudrötning och efterrötning varmed nedbrytningen av organiskt material påskyndas. Efterrötning sker vid  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Figur 8. Rötning av ensilage som medger en hög organisk belastning<sup>29</sup>.

Systemet med liggande rötreaktor uppges medge en organisk belastning på upp till  $12 \text{ kg VS/m}^3$  reaktorvolym, dygn i den första liggande reaktorn. Tekniken ger en bra omrörning. Röt-kamrarna säljs i moduler med upp till  $1\,000 \text{ m}^3$  röt-kammarvolym i det första steget. Det finns ännu inga stora produktionskoncept med tekniken.

<sup>28</sup> Fischer (2006) Presentation: Monovergärung von Silage mit Schwerpunkt Gras.

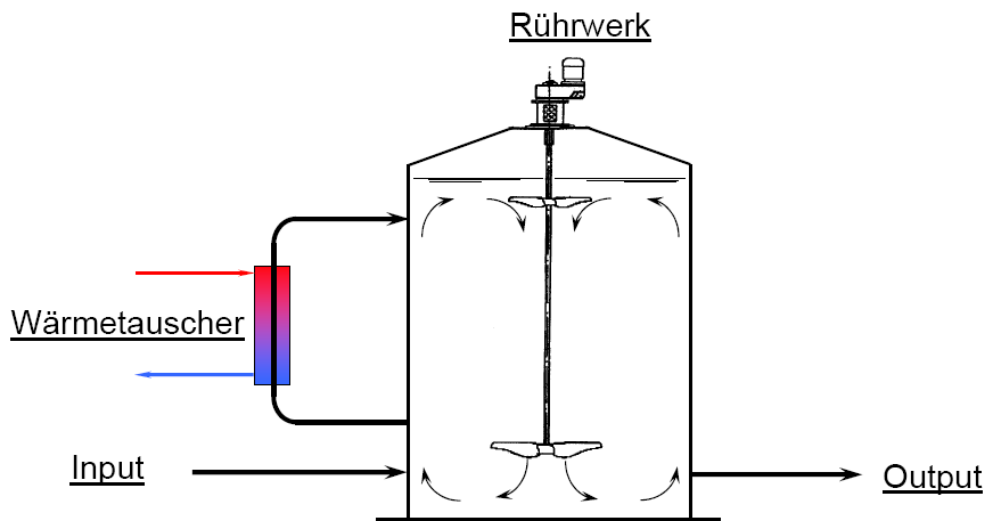
<sup>29</sup> källa: www.eisenmann.de

### 3.3.2 Låg stående röttkammare

Tekniken är billig och beprövad och substrat arbetas direkt in med övrigt material med kraftiga omrörare. Det är besvärligt att få god omrörning i hela röttkammaren och för större kammare är det svårt att få ut all värme med de värmeslingor som finns uppsatta på kammarens sidor. Stora röttkammare använder inte tekniken.

### 3.3.3 Hög stående röttkammare

För stora biogasanläggningar med en röttkammarvolym upp till 5 000 m<sup>3</sup> är tekniken enligt figur 9 vanligast. Uppvärmning sker genom pumpning och värmeväxling med hetvatten.



Figur 9. Traditionell röttkammare med volym upp till 5000 m<sup>3</sup>.

### 3.3.4 Torrötning

I Tyskland pågår flera projekt med torrötning men totala kostnadsfördelar i jämförelse med konventionell rötning har inte påvisats hittills<sup>30</sup>. Dock kan utvecklad torrötningsteknik ge möjlighet till hög organisk belastning, lägre uppvärmningsbehov och en effektivare rötresthantering med hög TS-halt på biogödseln. I Tyskland ger torrötning en teknikbonus på producerad el vilket är främsta anledningen till att anläggningar byggts.

<sup>30</sup> Fjäderfäcentrum (2007) *Produktion av biogas från fjäderfägödsel*

### 3.4 KOSTNAD FÖR RÖTNING AV ENSILAGE

Tyska Schmack Biogas AG har uppskattat kostnader för en storskalig biogasanläggning med rötning av främst ensilage. Schmack har liknande teknik som Eisenmann med en liggande första kammare samt en mer konventionell kammare för efterrötning. En liten andel spannmål är också föreslagen.

**Tabell 16. Uppskattade investerings- och driftskostnader från Schmack Biogas AG för rötning av främst ensilage.**

Inkommande substrat	150 000 50 000 100 000 10 000	ton majsensilage/år ton vallensilage/år ton helsädesensilage/år (rågvete) ton spannmål/år
Rötkammarbelastning	4	kg VS/m <sup>3</sup> reaktorvolym,dag
Uppehållstid, medel	80	Dygn
Antal rötreaktorer	4 8	huvudrötkammare EUACO efterrötningskammare COCCUS
Total kammarvolym	68 000	m <sup>3</sup>
TS-halt i kammare/rötrest	12-18	%
Spädvatten	0	m <sup>3</sup> /år
Uppskattad investeringskostnad rötning inkl förbehandling, rötning, efterrötning mm.	230 <sup>31</sup>	Mkr exkl bygg

Med angivna driftskostnader från Schmack Biogas AG blir produktionskostnaden för rötning av ensilage uppskattningsvis 0,13 kr/kWh.

---

<sup>31</sup> 25 M€

## 4 RÖTREST

Under biogasprocessen omvandlas drygt hälften av torrsubstansen till biogas. För att substratet ska ha en hanterbar massa samt vara väl anpassad för biogasbildande bakterier antas en TS-halt i rötreaktorn på 7 % för både spannmål och ensilage. Tabell 17 ger hanteringsmängder för substrat och spädvatten. Spädvattnet kan till del utgöras av återförd rötrest eller vatten från mekanisk avvattning.

Tabell 17. Mängd av substrat, spädvatten och utgående rötrest.

	Spannmål [ton/år]	Majs [ton/år]	Vall [ton/år]
Substrat	100 000	260 000	280 000
"Spädvatten"	470 000	380 000	540 000
Avgående som gas	-60 000	-60 000	-60 000
<b>Rötrest</b>	<b>510 000</b>	<b>580 000</b>	<b>760 000</b>

Enligt vissa tyska tillverkare av biogasanläggningar kan rötning ske vid omkring 12 % TS-halt vilket skulle ge betydligt mindre rötrestmängder än som redovisas ovan. Lämplig TS-halt i rötammare är även beroende av vilken gröda som rötas.

För avsättning av rötrest krävs ett system som är praktiskt för de stora mängder rötrest som hanteras. Dessutom har de näringsämnen som rötresten innehåller ett marknadsvärde. Biogasanläggningens lönsamhet beror delvis på hur hanteringskostnaderna för rötrest förhåller sig till den intäkt som rötresten ger.

### 4.1 MEKANISK AVVATTNING OCH ÅTERFÖRING AV RÖTREST FÖR SPÄDNING

Det är inte nödvändigt att tillföra allt erforderligt spädvatten som färskvatten utan rötrest kan centrifugeras varefter en fast fraktion och en flytande återstår. Nåbar TS-halt efter centrifugering beror på vilket substrat som ska centrifugeras och dessutom ska den fasta fraktionen vara praktisk att hantera. En rimlig uppskattning för TS-halt är därför 30 % med en avskiljningsgrad av 60 %. Det innebär att 60 % av torrsubstansen hamnar i den fasta fraktionen, medan återstoden av torrsubstansen finns kvar i vattnet<sup>32</sup>. TS-halten i flytande fraktion är drygt 3 %.

<sup>32</sup> Michael Carlsson, Westfalia Separator Umwelttechnik



**Figur 10. Dekantercentrifug från Westfalia Separator. Används vid Svensk Växtkraft i Västerås.**

Kostnad för mekanisk avvattning med dekantercentrifug beräknas till 1,3 kr/ton rötrest. Beräkning baseras på investerings- och driftkostnader från Westfalia.

Då rötrest återförs som spädning måste kvävebalansen beaktas. Kväve finns löst i vattnet och en alltför hög grad av rötreståterföring kan medföra anrikning av kväve i processen och därmed ammoniakförgiftning. Ett riktvärde för kvävehalten är 6 kg N/ton rötrest. Tabell 12 ger en kvävebalans då 300 GWh per år utvinns ur respektive gröda. Genom att återföra så mycket rötrest i flytande fraktion som möjligt, minskas den mängd rötrest som måste transporteras bort.

**Tabell 18. Kvävebalans och möjlighet till återföring av rötrest för respektive gröda.**

Mekanisk avvattning	Spannmål	Majs	Vall
	[ton/år]	[ton/år]	[ton/år]
<b>Fast del 30 % TS</b>	<b>73 000</b>	<b>81 000</b>	<b>110 000</b>
Flytande del 3 % TS	450 000	500 000	650 000
Nödändigt spädvatten	470 000	380 000	540 000
Möjlig återföring av flytande del (max 6 kg N/ton rötrest)	260 000 N begränsande	380 000 N ej begränsande	390 000 N begränsande
Behov färskvatten	210 000	0	150 000
<b>Återstod flytande del</b>	<b>190 000</b>	<b>120 000</b>	<b>260 000</b>

## 4.2 LAGRING AV RÖTREST

Enligt svensk lag ska lagringskapaciteten för gödsel vara 10 månader. De flesta år är det tillräckligt med något mindre kapacitet men under regniga år kan det vara svårt att få ut gödseln och då behövs den extra kapaciteten. Det är inte tillåtet att sprida vare sig gödsel eller rötrest från 1 december till 1 mars.

### Fast rötrest

Fast rötrest körs under året ut till gödselplattor eller läggs vid åkerkanten om markförhållanden tillåter det. Samma regler som för vanlig torr stallgödsel gäller för hantering av fast rötrest. Det innebär att rötresten kan läggas direkt vid åkerkanten på marker med låg genomsläpplighet samt då en vattentäkt inte ligger i närheten. För sura markförhållanden eller vid genomsläpplig jord måste den fasta fraktionen lagras på gödselplatta<sup>33</sup>. Substratets fosfor finns främst anrikat i den fasta rötresten. Fosfor är ett växtnäringsämne som finns kvar i marken och läcker inte ut från åkern i stor omfattning.

### Flytande rötrest

I den flytande rötrestfraktionen finns ammoniumkväve vilket är ett lättåtkomligt växtnäringsämne. En begränsande faktor är att kvävet utlakas med regnvatten samt avdunstar till luften om det inte direkt tas omhand av växande gröda. En lagringsbehållaren, figur 13, bör täckas för att minska kväveförlusterna. Uppskattningsvis blir det endast 2 % kväveförluster med täckning medan förlusterna kan uppgå till hela 50 % om lagringsbehållaren inte täcks. Investeringskostnaden för täckt lagringsbehållare med pump för ombländning och tömning är cirka 109 kr/m<sup>3</sup> för lagringsbrunnar om 5 000 m<sup>3</sup>/st.<sup>34</sup>



Figur 11. Lagringsbrunn under byggnation<sup>35</sup>.

Täckt betongbrunn har en högre investeringskostnad än plastduk men beräknas ha längre livslängd.

<sup>33</sup> Sweco (2006) Trollhättan/Grästorp

<sup>34</sup> Arne Lager (2007) MPG

<sup>35</sup> Foto: Carl-Magnus Persson, Svensk Växtkraft.



### 4.3 SPRIDNING AV RÖTREST

Den fasta fraktionen har högt fosforinnehåll medan rötrestens ammoniumkväve finns anrikat i den flytande fraktionen. Det gör att spridning av fast rötrest kan ske under hösten i samband med att grödan bryts eftersom fosfor är ett ämne som inte lakas ur under vintern. Flytande fraktion med lättflyktigt ammoniumkväve bör spridas i växande gröda.

Det är lämpligt att sprida flytande rötrest under våren då grödorna kommit igång att växa. Spridning på höstraps som just kommit igång att växa är även lämplig för spridning av rötrest. Rötrestens flytande fraktion har högt innehåll av ammoniumkväve vilket är den form av kväve som växter kan ta till sig. En hög andel av kväve i lättåtkomlig form betyder emellertid att kvävet även riskerar att försvinna ut i luften då det inte sprids på rätt sätt. Genom att föra ned rötresten med slangar direkt till jorden minskar exponeringen av ammoniumkväve direkt mot luft och därmed minskas kväveförluster. Figurer nedan visar två alternativ för spridning av rötrest med små kväveförluster. Överst en gödseltunna med slangar som för ned biogödsel till jorden. De två nedre bilderna visar ett koncept där spridningsaggregatet förses med biogödsel genom direktpumpning från lagringsbrunnen.



Figur 12. Konventionell spridning av flytgödsel eller flytande rötrest<sup>36</sup>.



Figur 13. Spridning med direktanslutning till satellitlager.<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Källa: [www.agrometer.dk](http://www.agrometer.dk) 25 apr -07



En fördel med spridning av biogödsel där slangar förser ett spridningsaggregat med biogödsel direkt från lagringsbrunnen är att markpackning minskar. Stora gödseltunnor kan under regniga perioder vara omöjliga att använda på vattensjuka åkrar.

Gödslingen med rötrest lämpar sig väl som växtförbättring. Dock innehåller rötresten inte nödvändigtvis det förhållande av NPK (det vill säga kväve, fosfor och kalium) som åkermarken behöver för att ge en god skörd. Således behöver rötrestens växtnäringsinnehåll analyseras och därefter i vissa fall kompletteras med återstående nödvändig giva av NPK<sup>37</sup>.

#### 4.3.1 Spridningsareal

Givan av rötrest bör av praktiska skäl inte vara högre än 30 ton per hektar eftersom rötresten har låg TS-halt<sup>38</sup>. Gödsling av fosfor bör inte överstiga cirka 22 kg per hektar. Ett riktvärde för att inte få alltför stort kväveläckage är kvävegödsling om 160 kg kväve per hektar och år. Tabell 20 visar spridningsareal med angivet begränsande grundämne vid 300 GWh årlig biogasproduktion från respektive gröda.

**Tabell 19. Spridningsareal med begränsande ämne vid 300 GWh gasproduktion av respektive gröda.**

	<b>Spannmål</b>	<b>Majs</b>	<b>Vall</b>
Spridningsareal [ha]	12 700	14 700	14 400
Begränsande ämne	Fosfor	Fosfor	Kväve

<sup>37</sup> Källa: Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp

<sup>38</sup> Källa: Katarina Hansson, produktchef biogödsel vid NSR

## 4.4 DISTRIBUTION AV RÖTREST

### 4.4.1 Utkörning med lastbil

Vid Svensk Växtkraft i Västerås avvattnas rötrest och körs därefter ut till lantbruk i två fraktioner. Den fasta delen fylls på i containrar vid biogasanläggningen och körs därefter ut med lastbil och släp till lantbruk. Figur 14 visar hur fast fraktion körs ut med lastbil i Västerås.



Figur 14. Utkörning av fast rötrest vid Svensk Växtkraft<sup>39</sup>.

Fast rötrest körs ut av lastbil med släp. Det antas åtgå 23 minuter för lastning och lossning av både fast och flytande rötrest, maxlast på lastbil med släp är 36 ton och medelavstånd ut till fält är 22 km. Då ensilage rötas tillkommer ingen kostnad för returtransport eftersom lastbil förväntas köra tillbaka ensilage. Lastbil kostar 750 kr/h.

Utkörningskostnad av rötrest blir 17 kr/ton om returtransport inte belastar kostnaden för rötrest. Om returtransport inte kör substrat till anläggning blir utkörningskostnaden för rötrest cirka 24 kr/ton.

Systemet innebär många transporter, tabell 20.

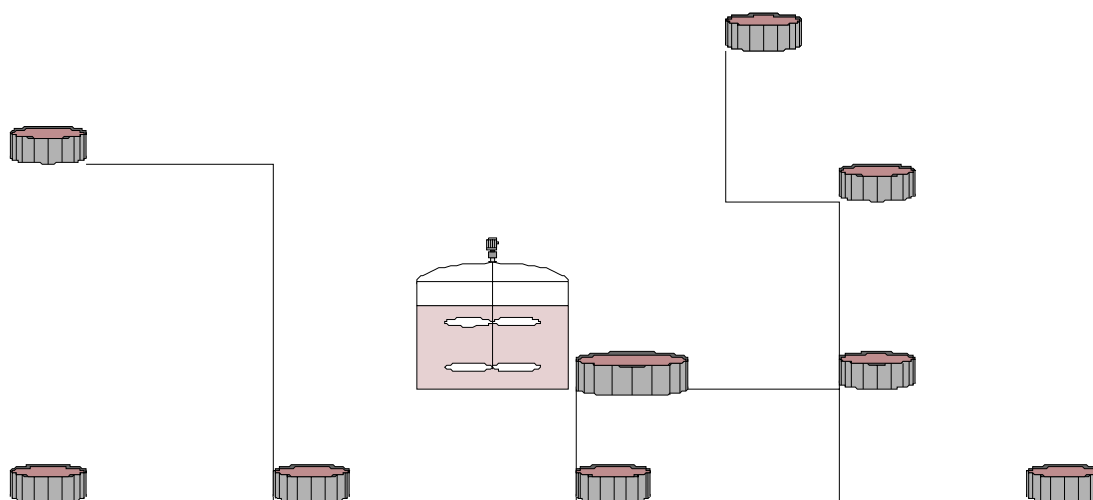
Tabell 20. Antal dagliga utkörningar av rötrest med lastbil.

	Spannmål	Majs	Vall
<b>Fast del 30 % TS [ton/år]</b>	<b>73 000</b>	<b>81 000</b>	<b>110 000</b>
Antal lastbilstransporter [vändor/dag]	5,6	6,2	8,5
<b>Flytande del [ton/år]</b>	<b>140 000</b>	<b>120 000</b>	<b>260 000</b>
Antal lastbilstransporter [vändor/dag]	11	9,1	19,8

<sup>39</sup> Foto: Monica Sandberg, Västerås

#### 4.4.2 Utpumpning av rötrest till satellitlager

Av både miljömässiga och logistiska skäl kan det bli nödvändigt att distribuera rötrest ut till satellitlager genom pumpning i rör istället för med vägtransporter. Det finns flera exempel på hur flytgödsel pumpas ut till en satellitbrunn ute på fälten. För biogödsel har NSR i Helsingborg nyligen investerat i ett ledningsnät för biogödsel. Inledningsvis ska upp till 20 000 ton rötrest pumpas ut till lantbruk med ett över 10 km långt ledningsnät. Från stamledningen ansluts rör som går till respektive brunn. Inledningsvis är 4 brunnar i Helsingborg anslutna men de förväntas bli fler eftersom målet är att pumpa ut 40 000 ton rötrest per år. Figur 15 visar principen för att pumpa ut biogödsel med rör. Det behövs pumphus vilka inte är inritade i bilden.



Figur 15. Gödsel pumpas ut från biogasanläggning till satellitlager.

Ett examensarbete<sup>40</sup> har beräknat kostnader för byggnation av pumphus och ledningar samt energianvändning för pumpning. Data baseras på uppgifter från NSR i Helsingborg med följande kostnader för rötrestpumpning:

- Kapitalkostnad för rörledning är 75 500 kr/(km\*år)
- Energianvändning för pumpning är 0,05 kWh/(ton\*km)

Med antagande om proportioner att det krävs 10 km för att pumpa ut 45 000 ton/år fås kostnaden 17 kr/ton för att pumpa ut rötrest. Kostnad för täckt lagringsbrunn tillkommer.

<sup>40</sup> Nilsson, Johansson (2007) Transporter i gårdsbaserade biogassystem

## 4.5 FÖRÄDLING AV RÖTREST

### 4.5.1 Pelletering av fast fas

Det kan finnas fördelar med att pelletera den fasta rötresten. Torrsubstansen ökar då till cirka 97 % vilket gör att antalet transporter reduceras. Ett högt värde på pellets som värme eller växtnäring i förhållande till produktionskostnad kan göra alternativet attraktivt. Dessutom kan det i praktiken vara nödvändigt att pelletera rötrest för att minska transportbehovet från anläggningen.

#### Pelletering av slam i Sverige

Vid Himmerfjärdsverket i Södertälje pelleteras slam efter att slammet först avvattnats. Reningsverket valde tekniken främst för att minska antalet transporter från anläggningen. Torktekniken är energikrävande men eftersom biogasen tidigare har motsvarat ett lågt värde har tekniken hittills visat sig vara en god investering. Möjligheten att uppgradera biogas till fordonsgas kan emellertid framöver göra att pelleteringens värms upp med pelletseldad panna istället för dagens gaspanna.



Figur 16. Torkning och pelletering av slam efter mekanisk avvattning<sup>41</sup>.

En viktig erfarenhet som gjorts på Himmerfjärdsverket är att ingående kväve i avvattnad fas blir kvar i pellets, förutsatt att utgående vattenånga inte har högre temperatur än 120 °C. Granulerna har liknande form som handelsgödsel och sprids ut i skogen men de kan även eldas upp. Pelletsen vid Himmerfjärdsverket har följande egenskaper<sup>42</sup>:

- Densitet 700 kg/m<sup>3</sup>
- Värmevärde 3 200 kWh/m<sup>3</sup>
- 40 ton pellets får plats i lastbil med släp

<sup>41</sup> Bild från [www.torkapparater.se](http://www.torkapparater.se)

<sup>42</sup> Karl-Olof Setterman, Himmerfjärdsverket i Södertälje

### Kostnader för hantering av rötrest med torkning och pelletering

Torkapparater AB har grovt uppskattat kostnader för torkning och pelletering av fast rötrest för alternativet då spannmål rötas. En osäkerhetsfaktor är om rötrest från spannmål är ”självklibbade”, det vill säga om granuler bildas automatiskt under torkningsprocessen. Slam är självklibbade men om rötrest inte är det, så behöver det investeras i energikrävande pelletspress av samma typ som används för träpellets. Oavsett om det torkade materialet hänger ihop eller inte, så skulle materialet kunna köras till närliggande gödningsfabrik där pelletsen kompletteras med näringsämnen till en näringsammansättning som kan ersätta handelsgödsel. Tabell 21 anger skattade värden för investerings- och driftskostnader för torkning av fast avvattnad rötrest.

**Tabell 21. Pelletering av fast fraktion.**

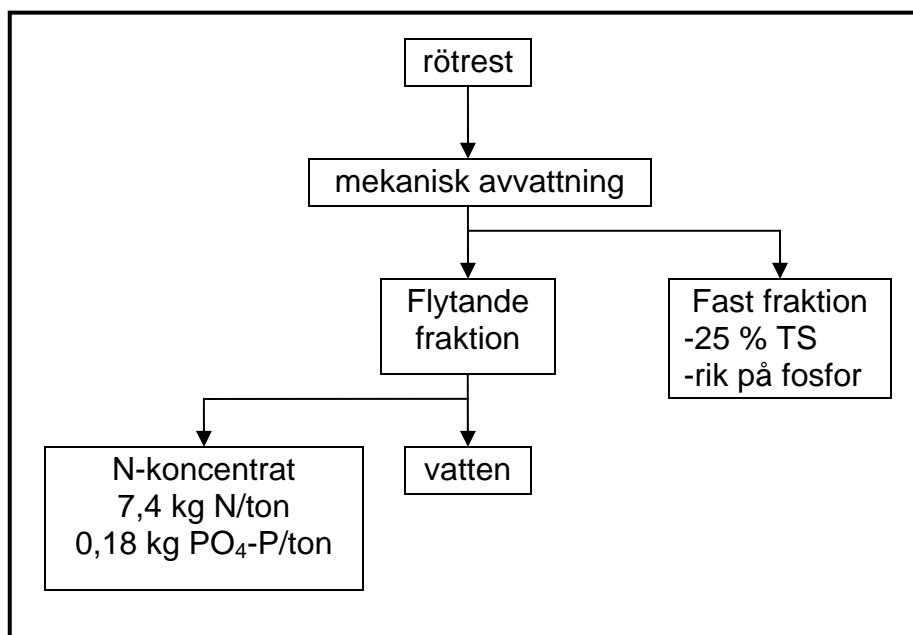
	Granuler bildas automatiskt	Pelletspress behövs
Ingående till torkning	70 400* ton avvattnad rötrest, 30 % TS	
Utgående från torkning	Pellets (97 % TS)	
	Vatten i separat linje	
Effektbehov värme	800 kW per ton avdunstat vatten	
Nettobehov värme (2 MW beräknas återvinnas till rötchammare)	4,3 MW	
Investeringskostnad	35 Mkr	47,5 Mkr
Tillkommande inmatningsutrustning och installation (uppskattning av BioMil)	10 % av investeringskostnad	
Uppskattad kostnad pelletering	210 kr/ton fast rötrest	240 kr/ton fast rötrest

\* BioMil angav 70 400 ton fast rötrest till Torkapparater AB, medan övriga beräkningar behandlar 73 000 ton fast rötrest.

Genom att pelletera avvattnad rötrest fås pellets som kan användas till antingen gödning eller uppvärmning. Lönsamheten för pelletering hänger på vilket värde torkat pellets har, hur mycket det minskade transportbehovet värderas samt hur mycket värme som kan återvinnas. Minst 70 % av värmen från torkprocessen beräknas kunna återvinnas och det utgående vattnet från torkprocessen har cirka 95 °C. Torkprocessen ger värme som uppskattningsvis motsvarar det dubbla värmebehovet i rötchammarna. Genom att sälja ytterligare värme förbättras lönsamheten. Försök vid Himmerfjärdsverket i Södertälje visar att kvävet i den fasta rötresten stannar kvar i pelletsen och således kan utgående vatten från torkmaskinen förväntas innehålla låg kvävehalt.

#### 4.5.2 Uppdelning i fast fas, flytande N-koncentrat och rent vatten

Det finns flera tekniker för att kemiskt separera näringsämnen i rötrest. Genom mekanisk avvattning fås en fast fraktion som är rik på fosfor medan den andra flytande fraktionen innehåller en hög andel kväve. Figur 17 visar konceptet. Med membranseparering, kemikalietillsatser och osmos fås en kvävelösning samt rent vatten ut.



Figur 17. Separering av rötrest till koncentrat N-lösning, vatten och fast fraktion<sup>43</sup>.

#### Kostnader för separering av rötrest i tre faser

IMB Verfahrenstechnik har genomfört tester och demonstrerat teknik enligt figur 17 och kan sälja uppgraderingssystemet för rötrest kommersiellt. För rötning av ensilage med 600 000 ton rötrest/år med 7,5 % TS fås följande produkter:

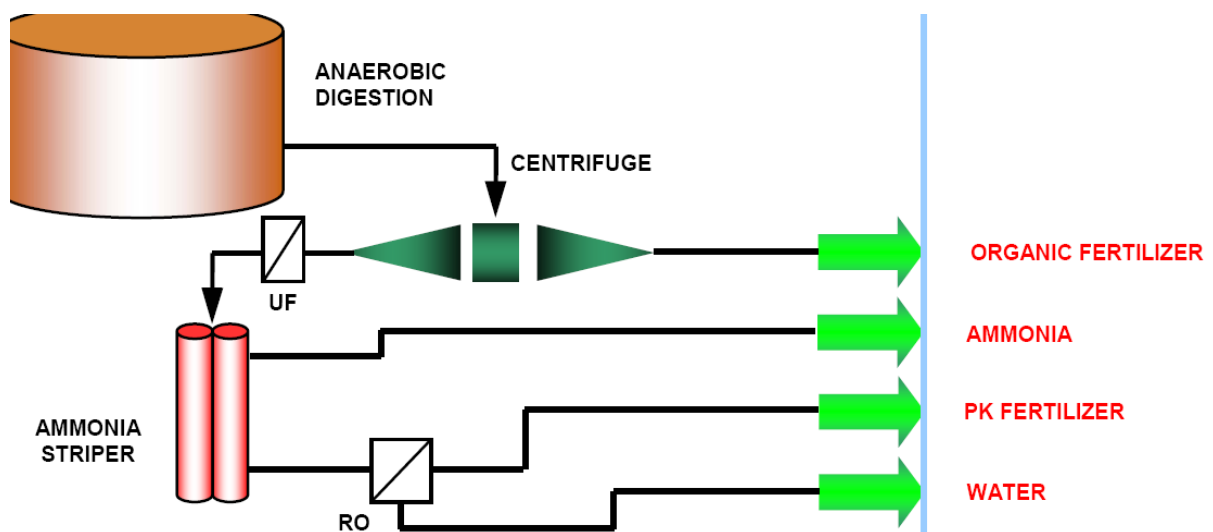
- 170 000 ton fast fraktion med 25 % TS
- 90 000 ton N-lösning med 4,5 % TS
- 350 000 ton rent vatten

Investeringskostnad är angiven till 42,6 Mkr. Angivna driftskostnader samt beräknad kapitalkostnad ger en kostnad på 28 kr/ton ingående rötrest. Kostnader för utkörning av N-lösning till fält tillkommer.

<sup>43</sup> Källa: Peter Zilger, IMB Verfahrenstechnik GmbH

### 4.5.3 Ammoniumsulfat från rötrest genom kvävestrippning

Rötrest kan behandlas kemiskt och därmed få olika fraktioner ut av respektive näringsämne. De danska företagen Green Farm Energy och BioScan arbetar båda med att få fram fraktioner av koncentrerat kväve och fosfor från rötresten. Figur 18 visar översiktligt hur BioScans process för uppgradering av rötrest fungerar. En dekantercentrifug avvattnar rötrest och den fasta fraktionen kan därefter användas som jordförbättring. Flytande fraktion leds till en så kallad kvävestripper där svavel tillsätts varvid saltet ammoniumsulfat bildas. Kvarvarande vattenlösning genomgår efter kvävestrippern en osmosprocess varvid en fosfor-kalium lösning samt en fraktion med rent vatten kommer ut.



Figur 18. Systemet Biorek från Bioscan med uppgradering av rötrest.

Vid reningsverket i Eslöv har en kvävestripper tidigare varit i drift. Driftkostnaden uppges ha varit hög. I denna rapport har investerings- och driftskostnader med kvävestripper inte utretts.

## 4.6 RÖTRESTENS MARKNADSVÄRDE

Vid rötning minskar torrsubstansen av substratet i form av främst metan och koldioxid. Alla näringsämnen finns emellertid kvar i rötresten i form av kväve, fosfor och kalium. Utöver kemiskt innehåll av växtnäring lämpar sig rötresten till växtförbättring eftersom rötrest ger en hög mullhalt till jorden, i jämförelse med om konventionell konstgödning används. Tabell 22 ger data för rötrest som kommer från en anläggning med 300 GWh årsproduktion från respektive gröda.

Tabell 22. Innehåll av näringsämnen i rötrest.

	Spannmål	Majs	Vall
	[ton/år]	[ton/år]	[ton/år]
Vikt rötrest (7 % TS)	510 000	580 000	760 000
Kväve (N) i rötrest	1 600	1 300	2 300
Fosfor (P) i rötrest	280	324	201
Kalium (K) i rötrest	440	i.u.	i.u.

Marknadsvärdet på rötrest som växtnäring är kopplat till innehåll av kväve, fosfor och kalium. På grund av att hanteringskostnader för rötrest är högre än för konstgödning blir värdet på rötrest något lägre. Samtidigt ökar mullhalten i jorden då biogödsel sprids på åkern. Tabell 23 visar priset på växtnäring i form av pelleterad handelsgödsel saluförd av exempelvis Lantmännen.

Tabell 23. Aktuella priser för handelsgödsel.

	Kväve (N) [kr/kg]	Fosfor (P) [kr/kg]	Kalium (K) [kr/kg]
Växtnäring <sup>44</sup>	10*	13	4
Ekologisk växtnäring	14	i.u.	i.u.

\*inklusive 1,8 kr/kg i skatt

### 4.6.1 Marknadspris för rötrest

Vid NSR i Helsingborg pumpas rötrest ut till satellitlager där NSR bekostar både utpumpning och lagringsbrunn. Lantbrukare sprider därefter ut rötrest och priset för rötrest fritt satellitlager är för närvarande 5 kr/m<sup>3</sup>. Priset är kopplat till att rötresten ska ha ett växtnäringsinnehåll inom intervallerna 3-4,5 kg N/ton samt 0,6-1,2kg av både P/ton och K/ton. Det betyder att det marknadsvärde som biogödsel för närvarande har i Helsingborg är betydligt lägre än vad motsvarande växtnäringsämnen är värda som konventionell konstgödning. Det hänger delvis samman med ökade hanteringskostnader för rötrest i jämförelse med konstgödning.

<sup>44</sup> Källa: Anders Andersson, Yara



Framställning av kväve som handelsgödsel är en energikrävande process. Det betyder att värdet på kväve är starkt kopplat till energipriser. Flera biogasanläggningar i Sverige har i dag problem för avsättning av med rötresten men intresset hos lantbruket att ta emot rötrest kan förväntas stiga med ökade priser på handelsgödsel. Det finns i dag enligt Yara en tendens till ökade priser på handelsgödsel.

Med dagens regler för ekologisk odling skulle det vara möjligt att ta in konventionellt odlade grödor till biogasproduktion, medan rötresten därefter säljs som jordförbättring till ekologisk produktion. Dock behöver det prövas om exempelvis rötad genmodifierad spannmål kan få en rötrest som klassas som ekologisk<sup>45</sup>.

#### **4.6.2 Intäkter och kostnader för rötrest**

##### **Mekanisk avvattning och transport av rötrest till lantbruk**

Med liknande prissättning på rötrest som vid NSR i Helsingborg skulle rötrest från grödor i dag vara värd omkring 10-11 kr/ton, beroende på att rötresten innehåller omkring dubbelt så mycket kväve i jämförelse med Helsingborgsfallet. Med kostnad för mekanisk avvattning på 1,3 kr/ton ingående rötrest samt kostnader för utkörning eller utpumpning på mellan 17-24 kr/ton innebär rötresten en nettokostnad. En bedömning är emellertid att rötresten på sikt inte bör innebära en nettokostnad. Om däremot rötresten värderas efter näringsinnehåll skulle intäkterna täcka kostnaderna för hanteringen. Dessutom kan konventionell handelsgödsel förväntas stiga i kostnad varmed rötresten blir allt mer intressant.

##### **Pelletering av avvattnad fast rötrest**

Pellets beräknas ha ett värmevärde på 3 200 kWh/m<sup>3</sup>. Med 0,22 kr/kWh fås en intäkt på 1 000 kr/ton pellets. Kostnaden för att pelletera är omkring 210-240 kr/ton fast rötrest, vilket motsvarar 700-800 kr/ton pellets. Således ser kalkylen ut att ge ett överskott.

Inom studien har det inte funnits utrymme att utreda växtnäringsinnehåll i pelleterad rötrest. Således är det svårt att ge en uppskattning av värde på pellets som växtnäring. Dock vore det önskvärt ur kretsloppssynpunkt om växtnäring går tillbaka till åkermarken.

##### **Uppgradering av rötrest till N-koncentrat, vatten och fast fraktion**

Kostnad för att separera i olika fraktioner är omkring 28 kr/ton rötrest. Därtill kommer kostnader för att köra ut N-koncentrat och fast fraktion. Ekonomin i systemet påverkas av hur lättillgänglig växtnäringen är i N-koncentratet och därmed värdet av lösningen. Vattnet är tillräckligt rent för att ledas ut till vattendrag. Det skulle även vara möjligt att pelletera den fasta fraktionen för att få ut ett eventuellt mervärde samt minska transportererna.

---

<sup>45</sup> ARANEA (2007), samtal med Lennart Josefsson

## 5 UPPGRADERING

För att öka energiinnehåll per volymsenhet uppgraderas biogas genom att koldioxid avskiljs. Torkning och rening är även nödvändig för att gasen inte ska vara skadlig för gaslager och motor. Tabell 24 ger innehållet i torr rågas i jämförelse med uppgraderad och renad fordonsgas.

**Tabell 24. Innehåll i torr biogas respektive fordonsgas.**

Komponent	Enhet	Biogas	Fordonsgas
Metan	vol-%	50-60	96-98
Koldioxid	vol-%	40-50	2-3
Luft	vol-%	1	<1,5
Svavel	mg/Nm <sup>3</sup>	140	<23

Funktioner för uppgradering, torkning och rening är ofta integrerade i en maskinanläggning. Tekniker som används i Sverige i dag för uppgradering av biogas till drivmedelskvalitet är tryckvattenabsorption, kemisk absorption och adsorption på aktivt kol (PSA). Det finns även tekniker under utveckling för att kyla ned biogas och därmed avskilja koldioxid i flytande fas.

### 5.1 KOSTNAD FÖR UPPGRADERING

Leverantörer av uppgraderingsutrustning har kostnadsberäknat en storskalig uppgraderingsanläggning. Tabell 25 ger uppskattning från Läckby Water AB för investeringskostnad för gasreningsanläggning med kemisk absorption. Observera att beräkningar bygger på uppgradering av 330 GWh/år. Teknik med kemisk absorption finns exempelvis installerad vid världens i dag största uppgraderingsanläggning för biogas i Göteborg, där uppgraderas 60 GWh/år.

**Tabell 25. Uppgifter från Läckby Water AB, uppgradering med kemisk absorption.**

Uppgraderad gas	330	GWh/år
Metanhalt uppgraderad gas	99,9	vol-% CH <sub>4</sub>
Investeringskostnad uppgradering	84	Mkr inkl. Maskin, Bygg, EL-Styr

Malmberg Water har levererat de flesta av de uppgraderingsanläggningar som installerats i Sverige på senaste tiden. Gas renas genom att koldioxiden löser ut sig i vatten under förhöjt tryck. Se uppskattningar av kostnader enligt tabell 26.

**Tabell 26. Uppgifter från Malmbergs Water, uppgradering med tryckvattenabsorption.**

Uppgraderad gas	300	GWh/år
Metanhalt uppgraderad gas	97-98	vol-% CH <sub>4</sub>
Investeringskostnad	75-80	Mkr inkl. Maskin, Bygg, EL-Styr <sup>46</sup>

<sup>46</sup> Kostnader för bygg, el mm är uppskattade till 5 Mkr av BioMil.

Kryoteknik innebär att biogas kyls ned till ett tillstånd där koldioxid blir flytande medan metan återstår i gasfas. Tekniken är möjlig eftersom koldioxid och metan har olika temperaturer för då de går från gasfas till flytande fas. Det holländska företaget Gastreatment Services bv har byggt en pilotanläggning med tekniken men har ännu ingen fullskalig referensanläggning i drift. Företaget är emellertid berett att offerera gasreningstekniken till Sverige redan i dag. Gas trycksätts till 50 bar (ö) och kyls därefter ned i två steg till -40 °C respektive -74 °C. Kondenserad koldioxid används för återkylning av processens sista steg. Företaget har uppskattat investeringskostnad enligt tabell 27. Gasreningen sker då i tre parallellt arbetande uppgraderingsenheter.

**Tabell 27. Uppgifter från Gastreatment Services bv, uppgradering med kryoteknik.**

Uppgraderad gas	300	GWh/år
Metanhalt uppgraderad gas	>96	vol-% CH <sub>4</sub>
Investeringskostnad uppgradering	53	Mkr

Uppgraderingskostnad har framtagits med uppskattning av drifts- och underhållskostnad från Läckby Water AB, Malmberg Water AB respektive Gastreatment Services bv. Se tabell 28.

**Tabell 28. Kostnad för uppgradering med kemisk absorption, tryckvattenabsorption respektive kryoteknik.**

	Uppgraderingskostnad [kr/kWh]
Kemisk absorption, Läckby Water AB	0,05*
Tryckvattenabsorption	0,06
Kryoteknik	0,04

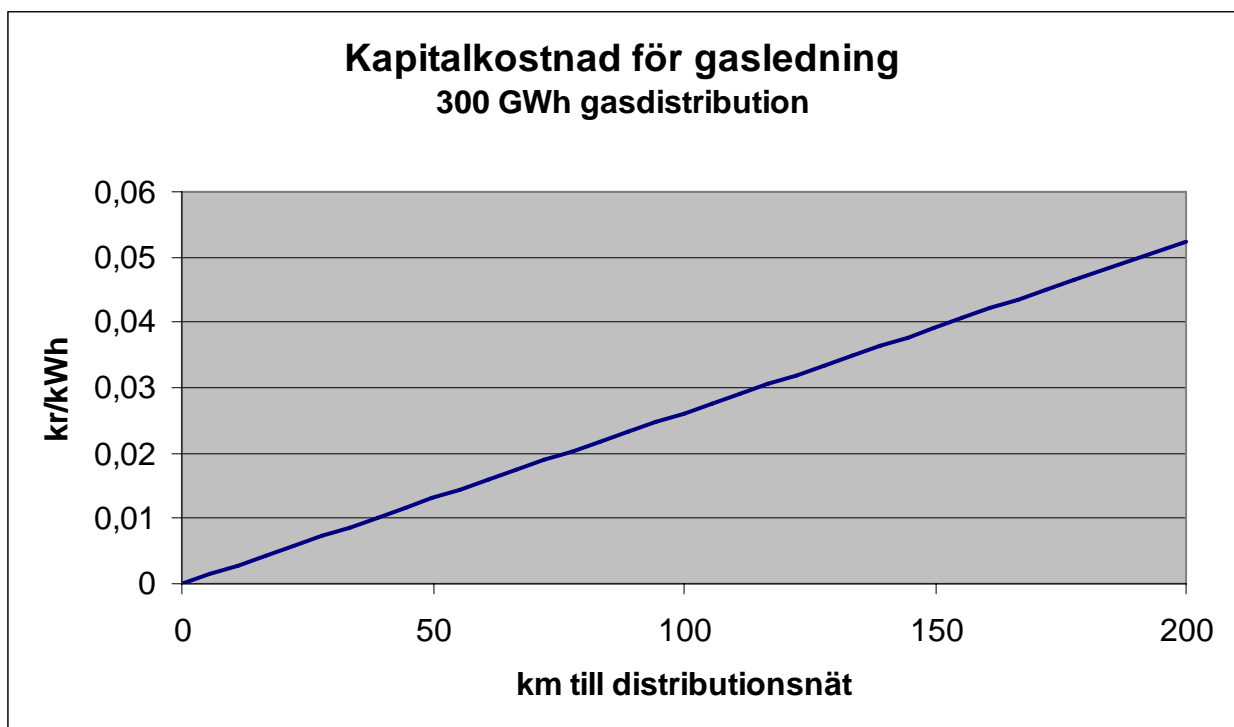
\*Kemisk absorption har en energikrävande regenereringsprocess. I kostnadsuppskattningar beräknas all värme kunna återvinnas för uppvärmning av röt-kammare.

Malmbergs Water AB påpekar att uppskattad investeringskostnad är för 6 standardiserade uppgraderingsenheter. Möjligheten att tillverka en enda stor uppgraderingsanläggning till 300 GWh skulle sannolikt sänka uppgraderingskostnaderna ytterligare.

Teknik från storskalig kemisk processindustri är sannolikt lämplig för uppgradering av 300 GWh per år.

## 6 GASDISTRIBUTION OCH TANKSTATIONER

Biogas behöver ledas till distributionsnät eller slutkund. Kostnad för gasledning utgörs främst av kapitalkostnaden och diagrammet nedan visar kostnaden att distribuera 300 GWh fordonsgas som funktion av ledningssträcka. Beräkningar enligt diagram nedan bygger på att gasledning kostar 900 kr/m att lägga ned.



En stor biogasproduktion möjliggör uppbyggande av lokala gasnät. En gasledning som är högst 20 mil har en distributionskostnad för biogas som är under 0,05 kr/kWh. Utmed gasledningen är det möjligt att ha fordonsgasstationer och därmed bygga upp infrastruktur för gasformiga bränslen.

Avgift för att distribuera fordonsgas i distributionsnätet är 0,06 kr/kWh. Kostnad för högtryckskomprimering och tankstation är beräknad till 0,1 kr/kWh<sup>47</sup>.

---

<sup>47</sup> BioMil (2007)

## 7 BEFINTLIGA PRODUKTIONSKONCEPT MED ÖVER 300 GWH ÅRSPRODUKTION AV BIOGAS

Garanterade elpriser på upp till 2 kr/kWh har gjort att det i dag finns 3 500 biogasanläggningar med tillhörande kraftvärmeaggregat i Tyskland. Biogas rötas främst av grödor i allt större biogasanläggningar och det hittills största produktionskoncepten har en biogasproduktion på omkring 450 GWh. Konceptet kallas bioenergi-park där 40 stycken standardiserade biogasanläggningar var och en producerar omkring 250 Nm<sup>3</sup> biogas per timma. Varje biogasanläggning har 2 400 m<sup>3</sup> reaktorvolym med enstegsrötning vars gas går till ett separat kraftvärmeaggregat. Kamrarna är inte sammankopplade med varandra vilket beror på att det tyska stödsystemet är utformat för att ge bäst bidrag för en viss gasproduktion.

Vid bioenergi-parken Penkun i norra Tyskland produceras biogas redan vid 30 röt-kammare och resterande 10 kammare förväntas vara i drift hösten 2007. Samtidigt planeras ytterligare fem biogas-parker i liknande storlek men det är i dag oklart om de blir verklighet.

Faktarutan nedan ger information och grundförutsättningar för en bioenergi-park.

Tabell 29. Fakta och förutsättningar för en bioenergi-park<sup>48</sup>.

Substrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 300 000 ton majsensilage</li> <li>- 60 000 ton gödsel</li> <li>- 20 000 ton spannmål</li> </ul>
Biogasproduktion	20 MW eleffekt vilket motsvarar 450 GWh biogas/år
Upptagningsområde	4 mils radie runt om biogasanläggningen
Arealbehov	8 000 hektar för energigröda 20 hektar för bioenergi-park
Rötrest	<p>Delas upp i tre fraktioner:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fast del med 30-35 % TS</li> <li>- torr del med 90 % TS som växtnäring</li> <li>- rent vatten</li> </ul> <p>All värme från kraftvärme-produktionen beräknas åtgå för torkning av rötrest.</p>
Investeringskostnad för rötreaktorer, kraftvärmeaggregat och förädling av rötrest	80 M€

<sup>48</sup> Frank Scholwin (2007) Institut für Energetik und Umwelt GmbH

Bild 19 visar layout för konceptet med bioenergipark. Observera att det stora antalet rötkammare beror på att just den storleken ger bäst pris på gas enligt det tyska bidragssystemet. För svenska förhållanden vore det sannolikt bättre med ett mindre antal rötkammare.



**Figur 19. Bioenergipark under uppbyggnad<sup>49</sup>.**

Enligt Swedish Biogas International planeras en storskalig biogasanläggning i Stockholm med 200 GWh gasproduktion baserad på spannmål.

---

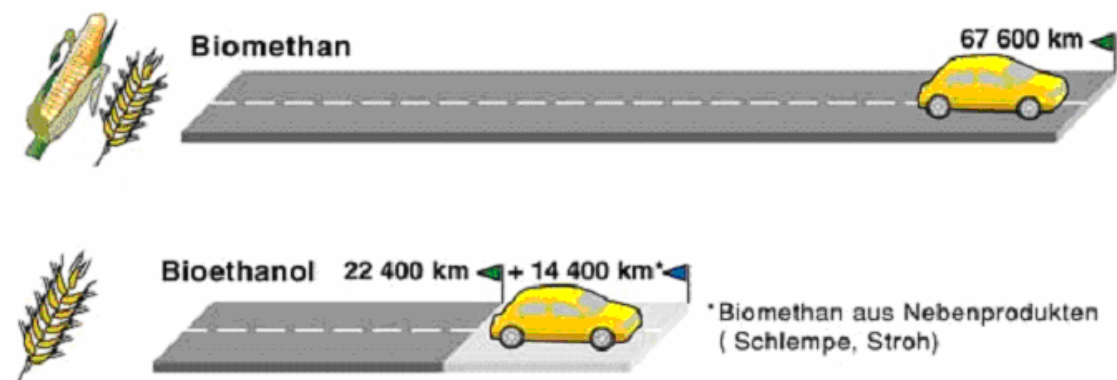
<sup>49</sup> källa: NAWARO © BioEnergie Park, Klarsee GmbH, Krackow, [www.nawaro.de](http://www.nawaro.de)

## 8 JÄMFÖRELSE MELLAN ETANOL- OCH BIOGAS-PRODUKTION

För att utreda om biogas är ett bra alternativ till etanolproduktion bör både miljömässiga och ekonomiska aspekter vägas in.

### 8.1 NETTOUTBYTE AV ENERGI PER HEKTAR

Det har tidigare gjorts svenska studier där nettoutbyte av energi från etanolproduktion jämförts med biogasproduktion. Nettoutbytet drivmedel har då visats liknande för de båda koncepten förutsatt att biogas produceras av drank<sup>50</sup>. Tyska studier visar emellertid ofta en större skillnad i drivmedelsutbyte i produktion av etanol med efterföljande biogasproduktion på drank, i jämförelse med biogasproduktion. Figur 20 illustrerar hur långt en bil kommer på ett hektar från ett system med etanol + biogas respektive från ett biogassystem baserat på biogasproduktion från majs. Arealutbyte gäller för tyska förhållanden.



Figur 20 Hur långt en bil kan köra på ett hektar drivmedel från etanol + biogas respektive produktion av enbart biogas<sup>51</sup>.

I figur 20 används hela respektive grödorna till biogasproduktion. Hela majsplantan används till biogasproduktion, vilket jämförs med om spannmålskärna används till etanolproduktion samt drank och halm till biogasproduktion.

<sup>50</sup> Pål Börjesson, Miljö- och Energisystem LTH

<sup>51</sup> Bild från Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

## 8.2 PRODUKTIONSKOSTNAD FÖR ETANOL RESPEKTIVE BIOGAS

Produktionskostnad för etanol anges ofta till 5 kr/l exkl moms. Kenneth Werling på Lantmännen Agroetanol vill av konkurrensskäl inte berätta produktionskostnad för etanol från den nya Norrköpingsfabriken, men säger att etanolpriset långsiktigt bör vara över fem kr/liter<sup>52</sup>.

Produktionspriset 5 kr/l för etanol motsvarar 0,83 kr/kWh etanol. Biogas kan enligt föreliggande studie produceras för omkring 0,64-0,74 kr/kWh.

---

<sup>52</sup> Dagens Miljö, 15 maj 2007



## 9 RESULTAT

Aktuellt substrat för storskalig biogasproduktion är grödor med ett arealbehov på omkring 6 000-11 000 hektar om ensilagegrödor som majs eller vall rötas. Om gasproduktionen baseras på fodervete blir arealbehovet omkring 14 000 hektar.

Spannmål är en handelsvara som har ett marknadspris. Under slutet av 2006 har priset för spannmål varit omkring 1,15 kr/kg vilket inverkar med 0,38 kr/kWh på gaspriset.

Ensilage har inte något marknadspris utan priset sätts efter alternativvärdet på åkermarken. Ett system med ensilage kräver långa kontrakt med lantbrukare i biogasanläggningens närhet. Genom att producera biogas av hela grödan istället för spannmålskärnan fås ett större energiutbyte per hektar. I rapporten uppskattas ensilage levererat till biogasanläggningen att i dag kosta 0,24-0,32 kr/kWh beroende på system och gröda. Genom att under sommarhalvåret ha en växtföljd med olika ensilagegrödor kan biogasanläggningen direktförses med substrat. Priset för ensilage kan förväntas att utvecklas i proportion mot spannmålspriset. För närvarande är spannmålspriserna på uppgång.

Rötningsteknik för spannmål har utvecklats av Svensk Biogas och i Norrköping är en biogasanläggning i drift. Den organiska belastningen vid rötning av spannmål och drank är upp till 6 kg VS/m<sup>3</sup> rektorvolym, dygn. Det medför minskad investeringskostnad för biogasanläggningen eftersom kamrarna kan byggas betydligt mindre än om belastningen körs vid 3-4 kg VS/m<sup>3</sup> rektorvolym, dygn som annars är normalt. Dock är det viktigt att ställa den organiska belastningen i relation till gasutbyte. En hög kostnad för substrat kan innebära att det är bättre att gå ned i belastning. Uppskattningsvis blir kostnaden för spannmålsrötning omkring 0,12-0,14 kr/kWh.

Kostnad för storskalig rötning av ensilage är uppskattningsvis 0,13 kr/kWh.

Utformning av hanteringssystem och logistik för substrat respektive rötrest är viktigt eftersom stora volymer ska hanteras. Beräkningar för system och försäljning av rötrest tyder på att hanteringskostnaderna överskrider det värde rötrest har i dag. Dock bedöms ökade priser på handelsgödsel samt en högre värdering av rötrestens näringsinnehåll innebära att rötresten på sikt inte bör innebära en kostnad.

Uppgradering har stora skalfördelar och uppgraderingskostnaden blir cirka 0,05-0,06 kr/kWh baserad på konventionell teknik i dag. Med ny teknik och industriella processlösningar kan uppgraderingskostnaden förväntas sjunka ytterligare.

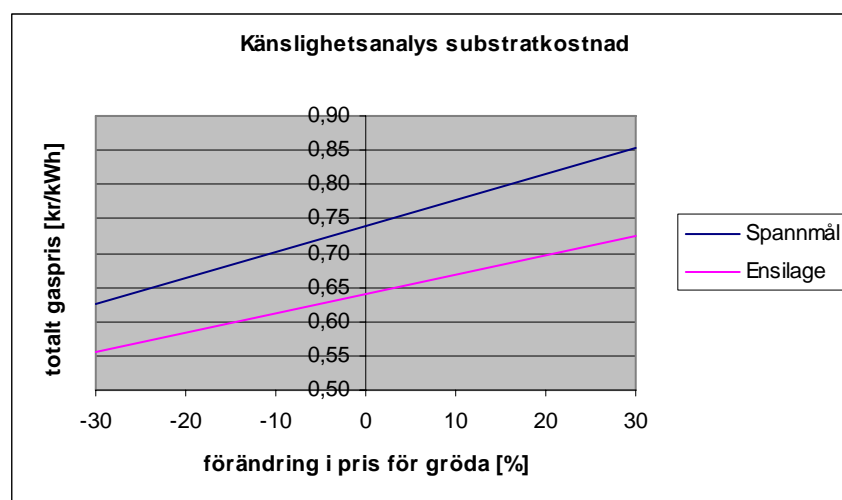
Storskalig produktion av biogas kan innebära att uppbyggande av lokalt distributionsnät för gasformiga bränslen blir lönsamt. En 20 mil lång gasledning får en distributionskostnad för uppgraderad biogas på omkring 0,05 kr/kWh. Som jämförelse kostar det 0,06 kr/kWh att distribuera gas via det befintliga naturgasnätet.

Tabell nedan är en sammanställning över genomsnittliga beräknade kostnader för storskalig rötning av spannmål respektive ensilage.

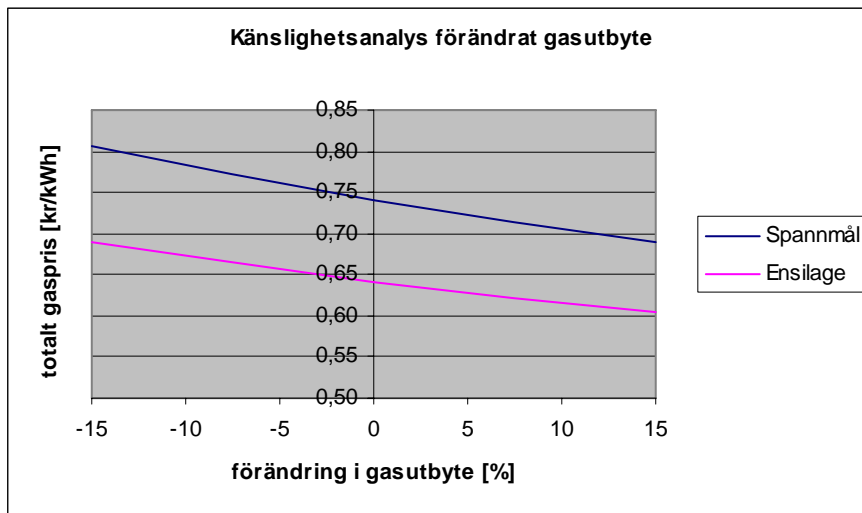
	Spannmål [kr/kWh]	Ensilage [kr/kWh]
Substrat	0,38	0,28
Rötning	0,13	0,13
Rörest	0	0
Uppgradering	0,055	0,055
Gasledning 4 mil till distr.nät	0,01	0,01
Nätavgift distributionsnät	0,06	0,06
Högtryckskomprimering och tankstation	0,1	0,1
<b>Totalt exkl. moms</b>	<b>0,74</b>	<b>0,64</b>

Marknadspriset på fordonsgas är i dag omkring 0,74 kr/kWh exklusive moms, vilket i bensin-ekvivalent motsvarar 8,35 kr/liter inklusive moms.

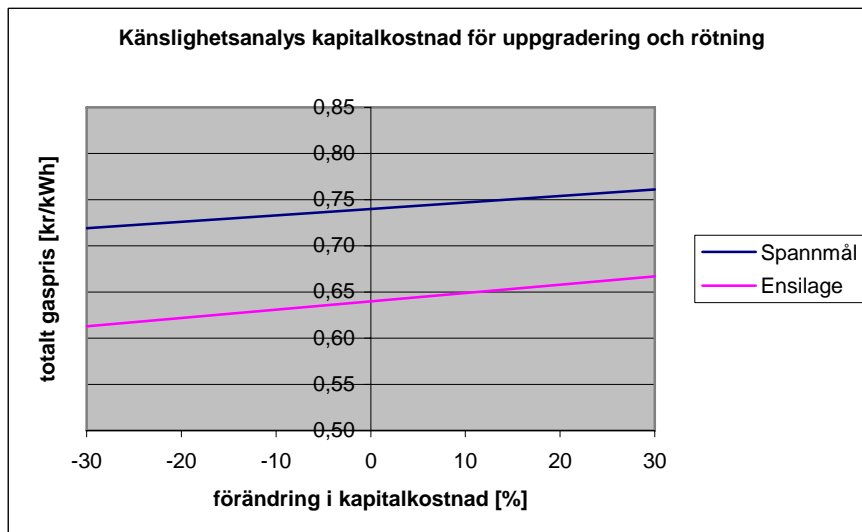
Känslighetsanalyser för substratkostnad, gasutbyte och kapitalkostnad är beräknade. Utgående från att spannmål och ensilage har en kostnad på 0,38 kr/kWh respektive 0,28 kr/kWh ges gasprisets förändring i diagrammet nedan. Det inses att grödans kostnad har stor inverkan på gaspriset.



Gasutbytetts påverkan på totalt gaspris ges av diagram nedan. Utgångspunkt är att spannmål har gasutbytet 355 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton TS och majsensilage har gasutbytet 360 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton TS med kostnad 0,38 kr/kWh respektive 0,28 kr/kWh.



Uppgradering har en kapitalkostnad på uppskattningsvis 0,02 kr/kWh medan rötning av spannmål och ensilage har kapitalkostnad på 0,05 kr/kWh respektive 0,07 kr/kWh. Diagram nedan ger påverkan på gaspris som funktion av förändring i kapitalkostnad för uppgradering och rötning.





**Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69**  
**[www.sgc.se](http://www.sgc.se) • [info@sgc.se](mailto:info@sgc.se)**

---

---