

Slutrapport, projekt nr V1040066

Rötning av fastgödsel vid Sötåsens gårdsanläggning

- Mats Edström, Johnny Ascue, Henrik Olsson, Gustav Rogstrand, Maria del Pilar Castillo: JTI – Institutet för miljö- och jordbruksteknik
- Åke Nordberg, Anna Schnürer: SLU.
- Per-Ove Persson, Linus Andersson: Hushållningssällskapet Skaraborg
- Stig Bobeck, Anders Assarsson, Anders Benjaminsson Sötåsens Naturbruksgymnasium
- Adam Jansson, Götene Gårdsgas
- Lennart Alexandersson: AB G Alexandersson

Bakgrund

Konventionell teknik för rötning utgörs av totalomblandade våtröttningsprocesser. Av den svenska biogaspotentialen från gödsel kan konstateras att fastgödsel utgör en betydande potential omfattande ca 2 TWh (Nordberg & Nordberg, 2007). Stapelbara material med relativt hög torrsbstans (>20 % TS) kan ske i s.k. torröttningsprocesser, men det är fortfarande en oprövad teknik i Sverige. En möjlighet är också att sönderdela halmrik fastgödsel, späda med rötchammarinhåll tills en pumpbar slurry erhålls, för efterföljande våtrötning.

Fjäderfärgödsel karakteriseras av hög torrsbstans (TS)- och kvävehalt. Vid rötning sker en mineralisering av organiskt kväve till ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), vilket kan leda till hämning av biogasprocessen om halterna överstiger ca 3 g $\text{NH}_4\text{-N/L}$ (Schnürer och Nordberg, 2008). Späda med vatten kan vara en lösning, men det ökar kostnaderna för hantering av rötrest. Vissa mikroorganismer kan dock anpassa sig till höga ammoniumhalter. Etablering av ammoniumtåligare organismer (s.k. syntrofa acetatoxidare) gynnas av längre uppehållstider än vad som är normalt (Schnürer och Nordberg, 2008). Vidare finns indikationer på att de kan ha ett tillväxtoptimum vid temperaturer strax över 40 °C (Karlsson m.fl., 2009).

Syfte och mål

Syftet med projektet var att i gårdsskala, undersöka de tekniska, biologiska och ekonomiska förutsättningarna för en ökad inblandning av fastgödsel (kyckling respektive djupströ) till flytgödsel i våta vattensnåla röttningsprocesser, samt att sprida erfarenheter till lantbrukare. I laboratorieskala har syftet varit att undersöka optimala betingelserna med avseende på temperatur, uppehållstid och vatteninspädning för en våt process som rötter en blandning av flytgödsel (30 % av VS) och kycklinggödsel (70 % av VS). Målen var att visa att:

1. samrötning kan öka gasproduktionen med 50-100 % mot enbart rötning av flytgödsel, vilket motsvarar 1,5 -2,0 m³ biogas/m³ reaktor & dag samt att generera en växtnäringsrik rötrest.
2. djupströgödsel kan konverteras till en pumpbar slurry, utan vattentillsats, för våtrötning.
3. det går att få en kontrollerbar övergång från rötning av enbart flytgödsel till samrötning av kycklinggödsel och flytgödsel under stabila förhållanden vid 6 g $\text{NH}_4\text{-N/L}$.

Material och metoder

Röttningsförsök vid Sötåsens gårdsbaserade biogasanläggning

Sötåsens biogasanläggning har två rötchammar kopplade i serie med vardera en volym på 260 m³ och har uppförts av Götene Gårdsgas AB. Den första rötchammar (RK1) hade en bottenomrörare (CRI-MAN; snabbroterande frekvensstyrd propelleromrörare med ca 5,5 kW märkeffekt för kontinuerlig drift). Både RK1 och efterrötchammar (RK2) hade var sin

ytomrörare (Suma Giantmix, sidomonterad med 11 kW märkeffekt som drevs intermittent). Enbart RK1 hade ett uppvärmningssystem (rötning vid 38 – 39 °C), medan RK2 hade ett system för att sänka dess temperatur (till 20 -30 °C). Biogasen användes huvudsakligen till kraftvärme-produktion med ca 15 kW eleffekt, vilket motsvarar en biogasförbrukning på 10 m³/timme. Överskottsproduktion brändes i en gaspanna eller fackla. För att minska mängden svavelväte i biogasen tillfördes RK1 ca 4 L luft/minut. Gasproduktion har mätts med bälggasmätare, till motorn med Actaris ACDG16 och till panna/fackla med Actaris G6 RS1. Gaskvalitetsmätning gjordes med en Sewerin SR2-DO.

Följande två försöksled genomfördes vid Sötåsens biogasanläggning:

- Försöksled 1: Samrötning av kväverik kycklinggödsel och nötflytgödsel.
- Försöksled 2: Samrötning av djupströgödsel (nöt och svin) och nötflytgödsel.

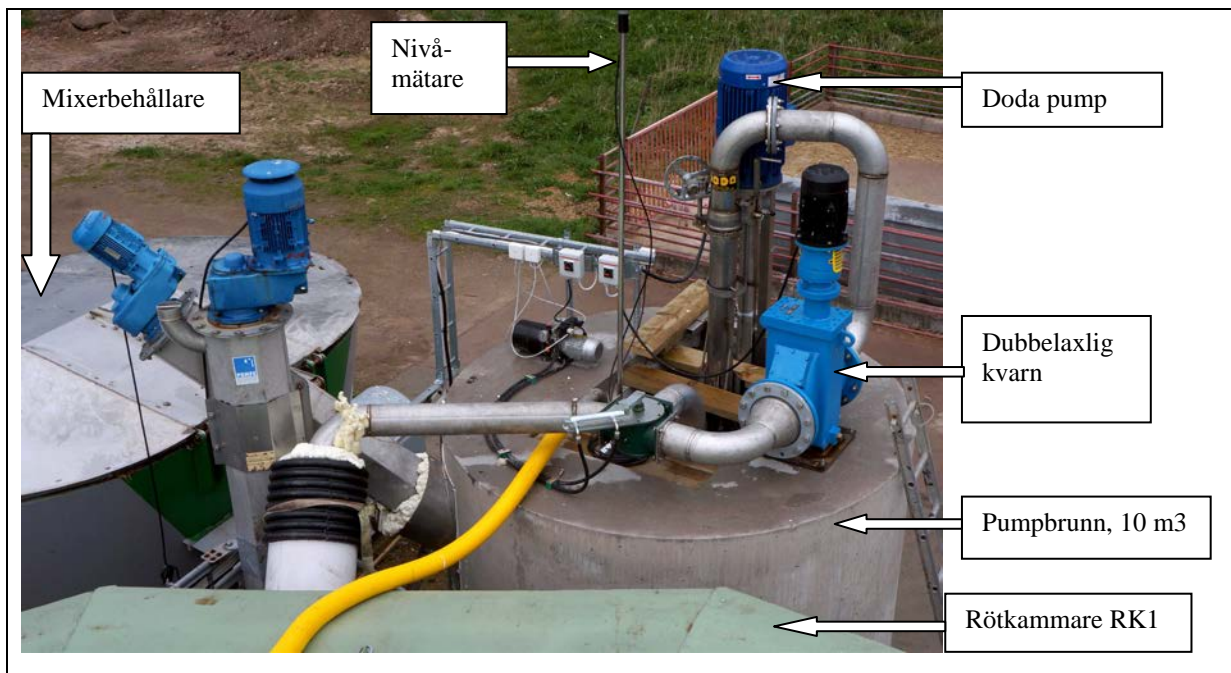


Bild 1. Uppförd anläggning för konvertering av djupströgödsel till en pumpbar slurry (före ombyggnation).

Flyggödseln pumpas direkt in i RK1. Under installationsperioden var produktionen av nötflytgödsel ca 5-10 ton per dag (TS: 7-9%) medan under betesperioden var den oftast under 5 ton/dag (TS: 4-5%). Kycklinggödseln (TS: 55-70%) liksom djupströgödseln (TS: 26-30%) lagrades utomhus. Fastgödseln tillfördes en knivlös mixerbehållare (Eco Line) placerad på vågceller (bild 1). Under försöksled 1 skruvades kycklinggödseln direkt in i RK1. Under försöksled 2 flyttades mixern så att den skruvade djupströbädd in i en 10 m³ pumpbrunn med nivå-mätare, där den konverterades till en flytande slurry (bild 1). Sönderdelningen byggde på att en kombinerad skärande centrifugalpump och propeller-omrörare (Doda, Super ME 120 ULT, frekvensstyrd 22 kW elmotor) var kopplad i serie med en dubbelaxlig kvarn (Franklin Miller, Taskmaster modell TM 8500, frekvensstyrd 5,5 kW elmotor). Djupströgödsel skruvades satsvis till pumpbrunnen där slam från röt-kammaren tillfördes med excenterpump för utspädning. Mellan varje ny inskruvning av djupströbädd sönderdelades blandningen av pumpen och kvarnen. Efter att en bestämd mängd djupströbädd konverterats till en slurry, pumpades satsen in i RK1. Proportionerna av djupströgödsel, slam från röt-kammaren samt driftcykler för pump och kvarn styras. Efter en ombyggnation kunde Doda-pumpen drivas ensamt alternativt tillsammans med kvarnen. Varvtalet på pumpen styrdes utifrån belastningen på kvarnen via PID-reglering för att undvika överbelastning av kvarnen.

Kampanjmätningar genomfördes både på rötnings- och konverteringsdelen av anläggningen för att bestämma behovet av processel samt för att beräkna kraftvärmeenhetsverkningsgrad. Med en tång-amperemätare uppmättes elbehovet för omrörare och pumpar. Dessutom loggade styrdator drifttider för elutrustning, levererad elektricitet ut på nätet, värmeproduktion samt biogasproduktion. Vidare genomfördes effektmätningar direkt på Doda-pumpens och kvarnens frekvensomvandlare under pågående arbete.

Kontinuerliga rötningsförsök i labororieskala

Tre semi-kontinuerliga våta totalomblandade (s.k. CSTR-reaktorer) rötningsprocesser med 5 L aktiv volym vardera startades upp med ymp från Sötåsen och var i drift i 26 månader. Rötkamrarna rötade gödselblandningen enligt tabell 1 och matades 6 dagar per vecka med 40 dagar uppehållstid. Processerna drevs parallellt under en 6 månadsperiod då den organiska belastningen gradvis ökades från 1,5 till 3 g VS/L & dag (veckobaserat medelvärde) samtidigt som vattenspädning och uppehållstid minskades. Detta resulterade i en gradvis ökad NH₄-N halt från ca 1,5 g/L till 4,2 g/L. Efter att belastningen på 3,0 g VS/L & dag hade uppnåtts, drevs processerna utan några förändringar under 6 månader för att möjliggöra anpassning av kvävetåliga organismer till miljön i rötkamrarna. Producerad gasvolym registreras med våtgasmätare och CO₂-halt i processen följdes dagligen i samband med beskickning (Jarvis m.fl. 1995). Gasproduktionen normaliseras (0 °C, 1 atm) genom att reducera den uppmätta produktionen med 10 % och normaliserad volym skrivs med ett N följt av ett volymmått.

Satsvisa rötningsförsök i labororieskala

Satsvisa utrötningar utfördes på de ingående substraten i 1 L-flaskor vid 37°C med ymp från Sötåsen. Vidare utfördes utrötningförsök på rötresten. Varje prov som utrötats har genomförts i tre replikat. Metodiken för dessa satsvisa försök följer de riktlinjer som Carlsson m fl. (2011) anger för satsvisa försök.

Gödselsammansättning

Karakterisering av gödseln till rötningsförsöket har genomförts via standardanalyser av Belab AB och Agri Lab AB. Gödelblandningens innehåll har beräknats fram baserat på blandningsförhållandet mellan nötflytgödsel (30 % av VS) och kycklinggödsel (70 % av VS).

Tabell 1. Karakteristik för gödselblandningen som rötades vid laborieförsöket, samt den nöt- och kycklinggödsel som gödselblandningen utgjordes av. Vidare redovisas sammansättningen på djupströgödseln som också rötades under försöksled 2 vid Sötåsens biogasanläggning. Det finns en betydligt större osäkerhet i djupströbäddens sammansättning än de övriga två gödselslagen. I tabellen är "N", totalt kväve, "NH₄-N" ammoniumkväve, "P" fosfor och "K" kalium. I tabellen anges även ett uppskattat metanutbyte vid kontinuerlig våtrötning (Metan vid CSTR).

	Nötflytgödsel	Kycklinggödsel	Gödselblandning	Djupströbädd	
TS	8,9	65,8	21,6	Ca 28	% av våtvikt
VS	84,6	86,3	85,3	Ca 86	% av TS
N: NH ₄ -N	3,1 : 1,3	29,7: 4,0	9,2: 1,9	Ca 7: 1	kg/ton
P: K	0,56: 3,46	9,7: 19,1	2,3: 6,9	Ca 2: 8	kg/ton
Metan vid CSTR	Ca 11	Ca 126	Ca 37	Ca 44	Nm ³ /to

Rötrestsammansättning och slamanalyser för driftövervakning

Karakterisering av rötrest har genomförts via standardanalyser av laboriet Agri Lab AB. Uppföljningen av rötningsprocesserna VS, TKN och NH₄-N analyseras enligt (APHA 1995), pH med pH-meter (Jenway 3510) och CH₄-halt i gasen med gaskromatograf (Jarvis m.fl., 1995). VFA i rötkammarinnehåll analyserades enligt Schnürer & Nordberg, 2008.

Resultat

Sötåsens gårdsanläggning

I kapitlet sammanställs de praktiska resultat, som har direkt relevans för näringen. Vidare görs en tolkning av försöksledens driftdata. Detta har utgjort underlag för ekonomikalkylerna. Tolkningen baserar sig på driftdata från perioder då anläggningen fungerade väl, se tabell 2.

Tabell 2. Beräknade årsmedelvärden för försöksleden med fastgödsel.

	Försöksled 1 ^{a)}	Försöksled 2 ^{a)}	Referens	
Huvudsubstrat	Kycklinggödsel	Djupströ	Flytgödsel	
Nötflytgödsel	5,0	5,5	5,0	Ton/d
Kycklinggödsel/Djupströ/Vall	1,1	2,5	0,35 ^{b)}	Ton/d
Spädvatten	1,7	-	-	Ton/d
Fastgödselandel av tillförd TS/N/P	65/70/80	74/66/75	23/28 /21 ^{b)}	% av tillförd mängd till RK1
Processel, rötningen (tabell 3)	Ca 117 ^{c)}	Ca 110 ^{c)}	Ca 100	kWh/dag
Processel, konverteringen	Ca 6	Ca 75	Ca 5	kWh/dag
Processvärme	306	419	255	kWh/dag
Biogasproduktion	329 : 1900	254 : 1490	170: 960	m ³ /d : kWh/d
Rötrestproduktion	2710	2810	2600	Ton/år
N/P/K i rötrest	17,0/4,8/13,3	9,1/ 2,3/11,1	6,6/1,3/7,2	Ton/år
NH ₄ -N i rötrest	65%	55%	57%	% av totalkväve

a) 30 bästa produktionsdagarna i följd

b) avser vallgröda

c) vintertid tillkommer ca 20 kWh el/dag för uppvärmning av kontorsutrymme med radiator.

Drift av rötningdelen av anläggningen

Behovet av process-el, för att driva anläggningens rötningssdel i slutet av respektive försöksled var ungefär lika stor, se tabell 3. Bottenröraren i RK1 är normalt alltid i drift med reducerat varvtal via frekvensstyrning. Under senare delen av försöksled 1 var den dock tagen ur drift på grund av ett haveri. Ytomrörare i RK1 klarade då själv omblandningen. Inledningsvis i försöksled 1 förekom betydande skumbildning i RK1. För att häva detta tillfördes dels skumdämpare, dels ökades omblandningen. Detta medförde att behovet av elektricitet blev större och uppgick då till ca 180 kWh/d. Bottenomröraren bidrag var då ca 50 kWh/d. Även i försöksled 2 minskades drifttiden för båda ytomrörarna från ca 4 h per dygn till ca 1,5 h.

Tabell 3. Elbehov för att driva rötningssdelen i biogasanläggningen under slutet av respektive försöksled.

	Försöksled 1		Försöksled 2	
	Elanvändning kWh/d	Drifttid timmar/d	Elanvändning kWh/d	Drifttid timmar/d
Bottenomrörare, RK1	0	0	50	24
Ytomrörare, RK1	50	3,9	19	1,5
Ytomrörare, RK2	47	3,3	21	1,5
Cirkulationspumpar, vatten mm	<u>20</u>		<u>20</u>	
Summa	117		110	

Praktiska erfarenheter, försöksled 1:

- Kycklinggödseln gick bra att tillföra rötammaren via skruvinmatning. Det gick att hålla rötammare RK1 totalomblandad vid TS-halter på 6-9 %.
- Rötresten skiktade sig vid lagring (1100 m³). 1/3-del utgjorde av ett tunnare ytskikt med 3 % ts-halt och resterande 2/3-delare drygt 9 % ts. En traktordriven propelleromrörare gjorde rötresten homogen och den gick därefter bra att sprida med en Olby släpslagsspridare.

Praktiska erfarenheter, försöksled 2:

- Sönderdelningsgraden på djupströbädden var god, under den period då kvarnen var i drift. Stråländen var oftast mindre än 10 mm, se bild 2. Det gick att hålla rötksamare RK1 totalomblandad vid TS-halter på 7 - 9 %.
- Elmotorn, som drev kvarnen, var för liten för att sönderdela djupströbädden. Detta orsakade många stopp, ibland dagligen. PID-regleringen av konverteringsenheten fungerade väl och gjorde att överbelastning av kvarnen minskade. Elbehovet för konverteringen (mixerbehållare, Doda-pump och kvarnen) var 30-45 kWh/ton djupströbädd.
- Efter 4 månaders drift havererade kvarnen och de visade sig att dess skärande ytor var mycket slitna. Samtidigt konstaterades att brunnen innehöll en stor mängd grus och sten samt lite metallföremål som sedimenterat på botten. Det stora slitaget bedöms ha orsakats av dessa föremål, men sönderdelningen av djupströgödselns halm har troligen bidragit. Kvarnen totalrenoverades. I samband med detta vidtogs ett antal åtgärder för att minska slitaget som exempelvis att förbättra sedimenteringen. Därefter fortskred försöken fram till december då det konstaterades att försedimenteringen fungerade men att mängden grus som sedimenterat, redan efter drygt 40 ton behandlat djupströbädd, hade fyllt upp bottenregionen av brunnen. Sedimentmängden utgjorde 2-5 vikt% av konverterad djupströbädd.
- Doda-pumpen fungerade väl. Något enstaka stopp inträffade. Sönderdelningen var dock begränsad, se bild 2. Elbehovet för konverteringen vid enbart sönderdelning med Doda-pump var 23 kWh/ton djupströbädd (inkluderade el till mixerbehållare och Doda-pump).
- Efter normal omrörning av lagertanken inför spridning erhöles en homogen slurry som gick bra att sprida med Olby-spridaren.



Bild 2. Jämförelse, fibrer från djupströbädd under försöksled 2. Bilden visar fiberlängd på djupströbädd, konverterad djupströbädd enbart med Doda-pumpen samt konverterad djupströbädd med både Doda-pump och kvarn i serie.

Satsvisa rötningsförsök i laboratorieskala

I tabell 4 redovisas specifik metanpotential vid satsvisa försök för den gödsel som rötades i CSTR-reaktorerna och i tabell 5 potentialen för ytterligare gasproduktion från rötresten.

Tabell 4. Specifik metanproduktion vid satsvisa utrötningsförsök med gödsel och gödselblandning (se tabell 1) angivet som N liter CH₄/g VS efter 40 dagars utrötning.

	Nötflytgödsel	Kycklinggödsel	Gödselblandning
Specifik metanproduktion	199	285	252

Tabell 5. Specifik metanproduktion vid satsvisa utrötningsförsök med rötrest från huvudrötkammare och efterrötkammare efter 40 dagars utrötning.

	Belastning, huvudrötkammare kg VS/m ³ &d	Huvudrötkammare N liter CH ₄ /g VS	Efterrötkammare N liter CH ₄ /g VS
Laboratorie, V9	3	70	-
Laboratorie, V39	4	80	-
Sötåsen, Försöksled 1 (1/3-2012)	3,75	77	75
Sötåsen, Försöksled 2, 4/12-2012	2,5	135	110

Kontinuerliga rötningsförsök i labororieskala

I detta kapitel sammanställs huvudsakligen de resultat som används för den ekonomiska känslighetsanalysen. Resultaten från denna laboratedel kommer att redovisas dels i en JTI-rapport och dels i en vetenskaplig publikation, se kapitel ”Publikationer och anslutande projekt”. De viktigaste resultaten som uppnåddes var att:

- den specifika metanproduktionen var 200 N liter CH₄/kg VS vid en belastning på 3 kg VS/m³&d och en uppehållstid på 40 dagar. Detta motsvarar 79 % av vad som uppnåddes vid satsvisa utrötningsförsök av gödselblandningen efter 40 dagar. Biogasens koldioxidhalt var i medel 35 % och dess innehåll av svavelväte var över 2500 ppm. Halten NH₄-N var 4,2 g/L och ca 65% av rötrestens kväveinnehåll utgjordes av ammoniumkväve. Av inflödet in i rötkammaren utgjorde kycklinggödseln 14,7%, flytgödseln 48,5% och vatten 36,8%. Rötrestens innehåll av kväve var 2,0 ggr högre, fosfor 2,7 ggr högre och kalium 1,3 ggr högre än vad som redovisas för nötflytgödseln i tabell 1.
- ingen skillnad kunde fastställas vad det gällde rötningsprocessens stabilitet och kapacitet vid 42 °C rötningstemperatur jämfört med 37 °C.
- den specifika metanproduktionen sjönk med 45 % (till ca 110 liter CH₄/kgVS) när belastningen höjdes till 4 kg VS/m³&d med en uppehållstid på 40 dagar. Vid detta driftförhållande utgjorde kycklinggödseln 19,6%, flytgödseln 64,6% och vatten 15,8% av inflödet till rötkammaren och NH₄-N steg till 5,5-6,0 g NH₄-N/L. Rötrestens innehåll av kväve var 2,8 ggr högre, fosfor 4,6 ggr högre och kalium 2,1 ggr högre än vad som redovisas för nötflytgödseln i tabell 1. Processen drevs stabilt på detta sätt under 20 veckor. Orsaken till att den specifika metanproduktionen sjönk när andelen kycklinggödsel översteg 14,7% av inflödet till reaktorn var troligen en hämning av det s.k. hydrolyssteget. Hämningen bedöms troligen vara orsakad av den höga ammoniumhalten och/eller brist på tillgängliga spårmetaller, men användning av antibakteriell koccidiostatika i kycklingfodret kan orsak vara en orsak. I ett fortsättningsprojekt, se kapitel ”Publikationer och anslutande projekt” kommer olika metoder att testas för att finna lösning på de mikrobiologiska begränsningar som identifierades. Detta var den högsta belastningen som uppnåddes.

Ekonomi

Kalkylförutsättningar

De ekonomiska beräkningarna utgår från Hushållningssällskapens kalkylmall för biogasproduktion. Tre fallgårdar med biogasanläggning har stipulerats, där det antas att huvudrötkammaren på fallgårdarna är ca 4 ggr större än Sötåsens, se tabell 6. Denna skala

bedöms krävas för att uppnå en acceptabel lönsamhetsnivå vid de förhållandevis låga energipriserna som används i kalkylen. Investeringsstöd antas utgå enligt Länsstyrelsens regler för 2012. Återstående kapital är belastat med 5 % ränta. Kalkylen är en medelårskalkyl, dvs. att den presenterar det årliga resultatet efter halva investeringens livslängd. Inflationen antas vara 2 % per år liksom prisökningen på drivmedel. Näringsvärdet på rötresten är beräknat utifrån Greppa Näringsens värderingsmall, dvs. relaterat till mineralgödsel (fullt värde på N, P och K och beroende av om det består av org-N eller NH₄-N inkl. kväveefterverkan), spridningskostnad och markpackning. Kostnad för underhåll av rötningdelen är lika för de 3 fallgårdarna liksom kostnad för arbete. Rörelsekapitalränta utgår under förutsättning att kostnader infaller före intäkterna, här bedömt med en månads förskjutning till årsräntan 5 %.

Tabell 6. Förutsättningar för ekonomisk kalkyl för fallgårdar.

	Gård 1	Gård 2	Gård 3	
Huvudsubstrat	Kycklinggödsel	Djupströ	Flytgödsel	
Rötade gödselmängder	4	4	4	ggr större än tabell 2
Verkningsgrad: elektrisk/termisk	26/60	26/60	26/60	%
Bruttoinvestering	5,08	6,28	4,76	M kr
Ersättning: el/värme ^{a)}	0,52/0,53	0,52/0,53	0,52/0,53	kr/kWh
Kostnad inköp & transport fastgödsel	803	0	0	kkkr/år
Kostnad: Skumdämpare, slitage konverteringsanläggning & sedimenthantering	26	91	0	kkkr/år
Årliga kostnader, medelår	1,8	0,99	0,81	kkkr/år

a) baserat på uppgifter från Sötåsen. Ersättningsnivå för el efter återbetalning av energiskatt dragits bort.

Lönsamhetskalyl

I tabell 7 redovisas resultatet från en lönsamhetskalkyl för de tre fallgårdarna. Som synes blir det väldigt stora lönsamhetsskillnader vilket beror främst på förhållandevis små skillnader i kapitalkostnader jämfört med de stora skillnaderna i gasutbyte. Samrötningen med kycklinggödsel sticker ut med en mycket god lönsamhet vilket till stor del förklaras av en hög gasproduktion trots ett högre rörligt kostnadsäge. Samrötning med djupströbädd är också intressant, men kalkylen dras med högre kapitalkostnaderna eftersom slitaget är högre på framförallt sönderdelningsutrustningen. Alternativet kan dock vara mer lönsamt än vad resultatet i tabell 7 visar, beroende på hur hanteringen av djupströ sker idag. Sammantaget är det intressant att notera att vid dessa prisnivåer krävs någon form av samrötning med ett energirikare material än flytgödsel och den här storleksordningen av gödselvolym för att investeringen i biogas överhuvudtaget skall ske.

I tabell 7 redovisas även produktionskostnaden för rågas från de tre olika fallgårdarna. Produktionskostnad beräknas av totala kostnader minus värdeökningen av rötresten genom den totala mängden producerad rågas före förluster och Gård 1 får den lägsta kostnaden.

Tabell 7. Lönsamhetskalkyl för de 3 fallgårdarna.

	Gård 1	Gård 2	Gård 3	
Huvudsubstrat	Kycklinggödsel	Djupströ	Flytgödsel	
Medelårsresultat	441	81	-53	Kr/år
Resultat år 1	41	-150	-261	Kr år 1
Antal år till positivt kassaflöde	-	7	13	År
Avkastningsränta	11,1	1,8	-1,4	% av insatt kapital
Produktionskostnad	0,41	0,43	0,53	Kr/kWh

Diskussion inklusive ekonomisk känslighetsanalys

Samrötningen av flyt- och fastgödseln resulterade i betydande mineralisering av organiskt bundet kväve till ammonium. Mängden ammoniumkväve i rötresten var ca 3,1 ggr högre än i gödselblandningen, innan rötning, i försöksledet 1 (kycklinggödsel) samt ca 2,3 ggr i försöksled 2 (djupströbädd). Vidare har följande tekniska och biologiska utmaningar identifierats:

- De biologiska, i form av hämningar av hydrolysen, vilket ledde till att väsentligt mindre biogas utvanns än vad som var möjligt vid en ohämmad process. Dessutom saknas idag generella metoder för operatörer av biogasanläggningar att fastställa huruvida hydrolyssteg i röttningsprocessen är hämmat eller ej.
- De tekniska, i form av att ta fram en robust driftsäker teknik med lågt underhållsbehov och som är lätt att installera i hanteringskedjan för fasta substrat, energisnål och med rimlig investeringsnivå så att även små anläggningar kan installera tekniken. Tekniken ska också vara tillräckligt effektiv så att biogasanläggningen tekniskt sett klarar av att röta djupströgödsel med upp mot 30 – 40 % av mängden flytgödsel som rötas.
- En kombinerad teknisk och biologisk, kopplat till det faktum, att enstegsrötning lämnar kvar en hel del omsättbara energi som inte hinner omvandlas till biogas. Genom att bygga lika stora efterrötkammare och som drivs vid samma temperatur, som huvudrötkammaren, så finns potential att biogasproduktionen kan ökas med 17-29 % (kalkyl baserat på tabell 5) jämfört mot om efterrötkammare saknas alternativt drivs vid en lägre temperatur.

56 % av Sveriges teknoekonomiska biogaspotential från gödsel beräknas återfinns i fastgödsel (Luostarinen et al; 2013). Förhållandet är likartat vad det gäller andelen av totala växtnäringen i stallgödsel som återfinns i fastgödseln. Även i ett östersjöperspektiv är biogaspotentialen ifrån fastgödsel betydande, exempelvis utgör fastgödsel ca 90 % av potentialen i Polen. Det kan också konstateras att, med hänsyn till kväveförluster och växtnäringsutnyttjande, är flytgödselhantering att föredra (Malgeryd m.fl., 2002). Våtrötning av fastgödsel torde alltså dels kunna minska utsläppen av klimatgaser via biogasanvändning och dels övergödningen eftersom växtnäringsutnyttjandet blir högre, som en effekt av konvertering följt av rötning. En förutsättning är dock att rötresten hanteras miljömässigt bra och med precision vid odlingen!

Baserat på detta, blir en rekommendation, att prioritera framtida FoU-insatser att dels utveckla teknik för att förbehandla fastgödsel och andra lignocellulosarika substrat innan rötning, dels utveckla rötningssystem som säkerställer hög nedbrytningsgrad av lignocellulosarika substrat.

Ekonomiska konsekvenser med ökat gasutbyte från rötd gödsel

Baserat på de satsvisa utröttningsförsöken på slam från huvudrötkammare och efterrötkammare bedöms att ett väl fungerande efterrötningsteg eller gasuppsamling från rötrestlager kunna medföra att gasproduktionen från rötd gödsel kan öka med upp till 17-29% (tolkning av data i tabell 5), se tabell 9.

Tabell 9. Ekonomiska konsekvenser om specifika metanproduktionen kan ökas via efterrötning eller effektiv gasuppsamling från lagerbehållare för rötrest.

	Merinvestering	Ökad gasproduktion	Ändrat resultat
	Mkr	Mer gas än tabell 2	kk/år
Gård 1 (Försöksled 1)	0,5	17%	18
Gård 2 (Försöksled 2)	0,5	29%	39

Ekonomiska konsekvenser av rötningsprocessens effektivitet då kycklinggödsel rötas

I tabell 8 redovisas resultatet för 8 st. ekonomiska kalkyler för Gård 1 (se tabell 6) om biogasanläggningen drivs med olika förutsättningar vad det gäller röt-kammarbelastning, inblandningsgrad av kycklinggödsel, vattenspänningsgrad samt specifikt gasutbyte.

Tabell 8. Ekonomisk jämförelse för Gård 1 med olika belastningar, inblandningsgrad av kycklinggödsel, vattenspänningsgrad samt specifikt gasutbyte. Det skall observeras att det ej gick att uppnå det specifika metanutbytet i som anges för Alt. 4 och Alt 7 under laboratorieförsöket.

Alt.	Belastning kg VS/m ³ &d	Spec metan NI CH ₄ /kg VS	HRT D	Kyck:Nöt:H ₂ O % av inflöde	Ekonomiskt resultat, kkr/år	Kommentar
1	3,0	200	35	12,9:42,4:44,7	269	Ökad vattenspän.
2	3,0	200	40	14,7:48,5:36,8	301	Referens, lab.
3	3,65	160	35	15,6:51,6:32,8	33	Lågt gasutb.,
4	3,65	200	35	15,6:51,6:32,8	379	Normalt utbyte
Sötåsen	3,75	200	33	14,0	441	Sötåsen, mars 2012
5	4,0	108	40	19,6:64,6:15,8	-383	45 % lägre gasutb.
6	4,0	132	40	19,6:64,6:15,8	-159	Lågt gasutbyte
7	4,0	200	40	19,6:64,6:15,8	494	Normalt gasutbyte

Det ekonomiska resultatet har potential att förbättras med ca 230 kkr/år om det går att driva en rötningsprocess med högre inblandning av kycklinggödsel med bibehållet gasutbyte (jämför Alt. 2 med Alt. 7). Samtidigt visas att gasbortfall med 45% (Alt. 5) medför ett ekonomisk resultat som blir 680 kkr/år sämre än Alt. 2. Det ekonomiska resultatet förbättras med ca 30 kkr/år genom att minska vattenspänningen (jämför Alt. 2 med Alt. 1).

Måluppfyllelse

I punkterna 1-3 redovisas hur uppsatta mål i kapitlet ”Syfte” uppfylldes:

1. Målet uppnåddes delvis. Kortare perioder uppnåddes en gasproduktion på 1,5 m³/ m³&d på Sötåsen, under längre driftperioder uppnåddes bara 1,3 m³/ m³&d. Den bästa rötningsprocessen på laboratoriet producerade drygt 1,4 m³/ m³&d under ca 2 månader period. Växtnäringsinnehållet i rötresten var väsentligt högre än i flytgödsel och mängden ammoniumkväve steg 2-3 ggr i jämförelse med gödselblandningens innehåll.
2. Målet uppnåddes, men slitaget på finskärande kvarnen var stort!
3. Målet uppnåddes delvis. Övergången till syntrof acetatoxidation i röt-kamrarna dokumenterades och rötningsprocesserna gick stabilt vid 4,2 g NH₄-N/L. När ammoniumhalten ökade, minskade den specifika metanproduktionen. Vid 5,5 – 6,0 g NH₄-N/L sjönk den specifika gasproduktionen med ca 45%, men trots detta gick den stabilt.

Publikationer och anslutande projekt

Projekt har genererat ett antal nya frågeställningar som resulterat i följdprojekt, som exempelvis:

1. I ett fortsättningsprojekt, (finansiering av Waste Refinery och JTI), kommer det undersökas huruvida tillsatts av spårmetaller, järnklorid eller om värmebehandling av gödseln kan lösa de identifierade mikrobiologiska begränsningarna. Slutredovisas i nov. 2013.
2. I ett fortsättningsprojekt, som har finansierats av Jordbruksverket samröta hästgödsel och flytgödsel på Sötåsens Naturbruksgymnasium. Projektavslut i dec. 2013.

3. Bl.a. med erfarenhet från Sötåsenprojektet har BioMethane (ERA-NET projekt) adresserat problemställningen med sönderdelning och lignocellulosanedbrytning. Projektet pågår till 2015.
4. I Baltic Sea Region projektet "Baltic Manure" används erfarenheter från Sötåsen för att beräkna den teknoekonomiska biogaspotentialen för gödsel i Sverige samt ekonomiska konsekvenser om denna potential uppnås. Projektavslut i dec. 2013.

Det kvarstår att publicera resultat från detta projekt. Planen är att efter Waste Refinery projektet laboratoriedel avslutats:

- genomföra en publicering av resultaten från laboratorieförsöken, där också effekter av de åtgärder som vidtagits för att höja den specifika metanproduktionen redovisas.
- sammanställa de mer tillämpade resultaten inklusive ekonomikalkyler som en JTI-rapport och utgående från detta skriva en tidningsartikel till professionella lantbrukare.

Övrig resultatförmedling till näringen

Resultat från projektet har presenterats:

- Den 27 oktober 2011 samt den 1 november 2012 organiserade HS Skaraborg demonstrationsdagar vid Sötåsen, där ca 90 personer deltog. Det hölls 12 presentationer, biogasanläggningen visades samt att en minitställning anordnades där företag som saluför biogasanläggningar, sönderdelnings- och omblandningsutrustning fanns representerade.
- Biogasanläggningen har använts vid undervisning på Sötåsensskolan.
- Visning av Sötåsenanläggningen för Jordbrukstekniska föreningen, 15 maj 2012
- Medverkan i Hushållningssällskapets energiutställning under Borgeby Fältdagar 2012
- Presentation vid Svensk Fågels årsstämma den 23 mars i Varberg 2012
- Presentation under "Sjösättning" av SLU:s biogasanläggning på Lövsta den 3 okt 2012
- Artikel i tidningen Energigas, nr 2 2012.

Referenser

- APHA, A., 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 16th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Carlsson M., Schnürer A. 2011. Handbok metanpotential. SGC 237. Svenskt Gastekniskt Center
- Jarvis, Å , Nordberg, Å , Mathisen, B., Svensson, B.H., 1995. Stimulation of conversion rates and bacterial activity in a silage-fed two-phase biogas process by initiating liquid recirculation. *Antonie van Leeuwenhoek* 68, pp 317–327
- Karlsson, M., Roos, S and Schnürer, A. 2009. *Tepidanaerobacter acetooxydans* sp. nov., an anaerobic syntrophic acetate –oxidizing bacterium isolated from two ammonium enriched mesophilic methanogenic processes. Submitted to *Int. J. Syst. Ev. Microb.*
- Malgeryd J., Karlsson S., Rodhe L, Salomon E. 2002. Stallgödsel – en resurs i ditt företag. Skogs- och Lantarbetsgivareförbundet (SLA). <http://www.sla-arbetsgivarna.org>.
- Nordberg U. & Nordberg. 2007. Torrötning - kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 357. JTI, Uppsala.
- Luostarinen, S. 2013. ENERGY POTENTIAL OF MANURE IN THE BALTIC SEA REGION -Biogas Potential & Incentives and Barriers for Implementation. www.Balticmanure.eu.
- Schnürer, A. & Nordberg, Å. 2008. Ammonia, a selective agent for methane production by syntrophic acetate oxidation at mesophilic temperature. *Wat. Sci. & Technol.*, vol 57, no 5, 735-740.