

Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel

– Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen

Henrik Olsson, Johan Andersson, Mats Edström,
Gustav Rogstrand, Per-Ove Persson, Linus Andersson,
Stig Bobeck, Anders Assarsson, Anders Benjaminsson,
Adam Jansson, Lennart Alexandersson, Karolina Thorell



Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel

– Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen

Co-digestion of horse manure and liquid manure at
a farm scale biogas plant

Henrik Olsson¹, Johan Andersson¹, Mats Edström¹,
Gustav Rogstrand¹, Per-Ove Persson², Linus Andersson²,
Stig Bobeck³, Anders Assarsson³, Anders Benjaminsson³,
Adam Jansson⁴, Lennart Alexandersson⁵, Karolina Thorell⁶

¹ JTI - Institutet för miljö- och jordbruksteknik

² Hushållningssällskapet Skaraborg

³ Naturbruksgymnasiet Sötåsen

⁴ Götene Gårdsgas/Rotage Agri AB

⁵ AB G Alexandersson

⁶ HNS - Hästnäringens Nationella Stiftelse

En referens till denna rapport kan skrivas på följande sätt:

Olsson H., Andersson J., Edström M., Rogstrand G., Persson P.-O., Andersson L., Bobeck S., Assarsson A., Benjaminsson A., Jansson A., Alexandersson L., Thorell K., 2014. Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel – Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen. Rapport 51, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för jordbruks- och miljö teknik, Uppsala.

A reference to this report can be written in the following manner:

Olsson H., Andersson J., Edström M., Rogstrand G., Persson P.-O., Andersson L., Bobeck S., Assarsson A., Benjaminsson A., Jansson A., Alexandersson L., Thorell K., 2014. Co-digestion of horse manure and liquid manure at farm scale biogas plant. Report 51, Recycling & Organic Waste. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Uppsala, Sweden.



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Innehållsförteckning

Förord.....	5
1 Sammanfattning	7
2 Summary	8
3 Inledning.....	9
3.1 Bakgrund	9
3.2 Syfte.....	10
3.3 Mål.....	10
4 Material och metod.....	11
4.1 Försöksupplägg.....	11
4.2 Analysmetoder.....	15
5 Resultat.....	17
5.1 Hästgödsels sammansättning och potential för gasproduktion	17
5.2 Rötning av hästgödsel vid Sötåsen	18
5.3 Tekniska och praktiska erfarenheter	22
6 Tolkning av resultat och underlag till ekonomiska kalkyler	26
6.1 Biogasproduktion	26
6.2 Tekniska lösningar.....	30
7 Ekonomisk utvärdering för samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel på gårdsnivå.....	33
7.1 Förutsättningar.....	33
7.2 Lönsamhetskalkyl.....	33
7.3 Investeringskalkyl.....	35
7.4 Transportkostnader	37
7.5 Sammanfattning av den ekonomiska utvärderingen.....	37
8 Diskussion	38
8.1 Måluppfyllelse	38
8.2 Sammanfattning av erfarenheter och råd från projektet	40
8.3 Fortsatta studier	41
9 Slutsatser	42
10 Referenser.....	43

Förord

Detta projekt har genomförts vid Naturbruksgymnasiet Sötåsens biogasanläggning under sommaren 2013. Finansiärer är Jordbruksverket genom landsbygdsprogrammet, Hästnäringens Nationella Stiftelse och Lantbrukarnas Riksförbund (LRF). Från JTI har Henrik Olsson (projektledare), Johan Andersson (tekniskt arbete och provtagning), Mats Edström (expertkunskaper vid planering och tolkning av resultat) och Gustav Rogstrand (stöd vid projektledning och koordinering) deltagit. Vidare har Per-Ove Persson (medverkat i referensgruppen samt ansvarig för demonstrationsdag och regional informationsspridning) och Linus Andersson (genomförande av ekonomikalkyler) deltagit, båda från Hushållningssällskapet i Skaraborg. Arbetet vid Sötåsens Naturbruksgymnasium har genomförts av Stig Bobeck (driftansvarig biogasanläggning, provtagning och dokumentation), Lisa Nilsson (praktikant från Yrkeshögskolan Hallsberg) samt Anders Assarsson och Anders Benjaminsson (koordinering och driftsstöd).

Adam Jansson (Götene gårdsgas/Rotage Agri), Lennart Alexandersson (AB G Alexandersson) och Karolina Thorell (HNS) har deltagit i referensgruppen, som träffats kontinuerligt under arbetets gång för att säkerställa att projektet håller hög relevans för näringen.

Ett varmt tack till alla finansiärer och medverkande, och i synnerhet till Stig Bobeck som på ett förtjänstfullt sätt bidragit till att detta projekt har varit möjligt att genomföra.

Projektgruppen vill även tacka Axevallas Travbana och Åke Svanstedts anläggning som har bidragit med gödsel till försöken.

Uppsala i juni 2014

Anders Hartman

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

1 Sammanfattning

Hästnäringen har vuxit kraftigt i Sverige under de senaste decennierna. Detta har gjort att hästgödselhanteringen i vissa områden börjar bli ett problem, både för miljön och för hästnäringens tillväxt. En möjlighet att förvandla detta avfallsproblem till en resurs kan vara att samröta hästgödsel med flytgödsel i befintliga och kommande gårdsbiogasanläggningar. Rötning av hästgödsel skulle bidra till ökad biogasproduktion samt till att sluta växtnäringsskretslöppen i samhället. Ytterligare en positiv effekt av att samröta flytgödsel med fast gödsel som t.ex. hästgödsel, är att det då blir möjligt att producera mer gas från samma rötkammarvolym.

Syftet med detta projekt var att underlätta för framtida samrötning av betydande mängder hästgödsel i befintliga och planerade våtröttningsanläggningar. Projektet har bestått av tre delar. Först studerades metanbildningspotentialen från hästgödsel med olika strömedel genom utröttningsförsök. Samtidigt som utröttningsförsöken genomfördes skedde rötning av hästgödsel i fullskala vid Sötåsens biogasanläggning. Fullskaleförsöken syftade till att generera praktiska erfarenheter kring rötning av hästgödsel kopplat till sönderdelningsbehov, förekomst av föroreningar, problem med igensättningar och omblandning av rötkammaren. Under försöken rötades ungefär 250 ton hästgödsel tillsammans med flytgödsel från 60 mjölkkor. I den tredje delen av projektet gjordes ekonomiska beräkningar för rötning av hästgödsel samt tolkning av resultat. De ekonomiska beräkningarna genomfördes med målet att utvärdera eventuellt behov av en behandlingsavgift, för att rötning av hästgödsel skall vara av intresse för gårdsbiogasproduktion.

Utröttningsförsöken visade att biogaspotentialen från hästgödsel är starkt beroende av vilket strömedel som används. Halm som strömedel ger en metanbildningspotential på mer än 200 Nm³/ton organiskt material (VS Volatile Solids). Används istället spån eller torv som strömedel sjunker gödselns metanbildningspotential till strax under 100 Nm³/ton VS. Erfarenheterna från fullskaleförsöken vid Sötåsen visade att hästgödsel med spån och halmpellets som strömedel var lätthanterligt och gav få driftsstörningar i jämförelse med Sötåsens egen djupströbbädd. Gödseln innehöll även mindre föroreningar i form av grus och sten. Omblandning av rötkammaren är en utmaning. Huvudrötkammaren gick att hålla totalomblandad, men det blev problem med svämtäckesbildning i efterrötkammaren som hade ett enklare omrörningssystem.

De ekonomiska analyserna visar att halmpellets eller finfördelad halm är det bästa strömedlet om gödseln skall användas för biogasproduktion. Denna gödsel genererar mer gas, är lätt att hantera samt har en högre utröttningsgrad, vilket gör att det går att röta mer gödsel och ändå bibehålla samma torrsubstanshalt (TS) i rötkammaren. En gård med ungefär 70 mjölkkor bedöms kunna röta gödsel från ca 70-100 hästar i en befintlig rötkammare.

Om halmpellets används som strömedel kan gödselhanteringen bli kostnadsneutral för en hästägare, om hästgödseln planeras in som samrötningssubstrat i en ny gårdsbiogasanläggning som skall röta flytgödsel som huvudsubstrat. I ett sådant fall kan en normal gårdsbiogasanläggning med 1000 m³ reaktorvolym röta hästgödsel från upp till 400 hästar med acceptabel lönsamhet när det föreslagna gödselgasstödet är fullt utbyggt enligt plan.

2 Summary

The equine sector has been growing substantially in Sweden over the past decades and by that also the need for appropriate manure management systems. In some areas horse manure has become a waste problem for municipalities and horse owners. One way to turn this waste problem into a potential recourse would be to co-digest horse manure with cattle slurry in existing and planned biogas plants. This would contribute to production of biogas and close the nutrient cycle. Co-digestion of liquid manure with solid substrates, such as horse manure makes it possible to increase the organic loading rate and by that use the digester volume more efficiently.

The objective of this study was to identify and solve some of the technical bottlenecks for co-digestion of horse manure and liquid manure. The study consisted of three parts. The first part was batch trials to determine how the bedding material affected the biogas potential. The second part was farm scale co-digestion of horse manure and cattle slurry at Sötåsen Agricultural College. The farm scale co-digestion trials were conducted to examine technical aspects of co-digesting with a large proportion of solid manure. 250 tons of horse manure with sawdust as primary bedding was co-digested with liquid manure from 60 dairy cows. The third part of the project covered interpretation of results and economical evaluation of the effect co-digestion would have on a farm scale biogas plant. The economical evaluation was conducted to find out if there is a need for a processing fee for horse manure to make co-digestion at farm scale financially viable.

The biogas potential trials showed that the biogas potential from horse manure depends on the chosen bedding material. Horse manure with straw as bedding material had a methane forming potential of more than 200 Nm³/ton volatile solids (VS). Sawdust and peat bedding gave horse manure with a methane potential of less than 100 Nm³/ton VS. The farm scale trials demonstrated that horse manure with sawdust and straw pellets as bedding material was easy to handle and feed in to the digester. Mixing of the digester is a challenge and in the second part of the co-digestion trials a crust formed in the secondary digester, which had a less efficient agitation system compared to the primary digester.

The economical evaluation indicates that chopped straw or straw pellets are the best bedding materials if the manure is to be used for biogas production. This type of manure has a higher biogas forming potential, is easier to handle and will digest to a larger degree compared to manure based on peat or sawdust.

If pelletized straw is used as bedding material the manure handling process can be cost-neutral to the horse owner if the horse manure is picked up as a co-substrate for a cattle slurry digester. Financial viability for this concept depends on full roll-out of the planned Swedish “Manure Gas Support Program”. If implemented, a normal farm scale biogas plant of 1000 m³ digester volume would be able to digest manure from approximately 400 horses.

3 Inledning

3.1 Bakgrund

Hästnäringen har under flera år vuxit i Sverige och antalet hästar har med detta ökat (Jordbruksverket, 2011 a). Ungefär 75 % av Sveriges hästar finns idag i tätorter eller tätortsnära områden (Jordbruksverket, 2011 a). Denna utveckling har gjort att gödselhanteringen utgör en utmaning för både miljön och utvecklingen av hästnäringen, inte minst för större tätortsnära anläggningar. Endast 20-25 % av gruppen ridskolor, travtränare och turridningsföretag har tillgång till egen mark för spridning av hästgödsel (Enhäll m.fl., 2012). I samma undersökning uppger ungefär 17 % av ridskolorna att avsaknad av tjänster för hantering av hästgödsel inom deras område är ett hinder för deras affärsutveckling (Enhäll m.fl., 2012).

Gödselhanteringen är en kostsam post för näringsidkare inom hästnäringen. I en sammanställning från Göteborgsregionen uppger hästägare en kostnad på mellan 160 och 6 000 kr/häst och år (Wennerberg & Dahlander, 2013). Medelvärdet när tjänsten köptes från lantbrukare var strax under 1 000 kr/häst och år, och när tjänsten köptes från annan aktör var medelvärdet strax över 1 600 kr/häst och år. I en undersökning gjord i Skaraborgsområdet angavs kostnader på 900-2 000 kr/container från några svaranden samt kostnader på 400-600 kr/häst och år från andra (HNS 2012).

Samtidigt som hästgödsel i vissa fall är ett avfallsproblem, utgör den en stor outnyttjad biogaspotential. Vid betraktande av den svenska biogaspotentialen på ca 4 TWh (Linné m.fl., 2008) från gödsel, kan konstateras att fastgödsel utgör en betydande potential omfattande ca 2 TWh (Nordberg & Nordberg, 2007). Av denna fastgödselpotential går 0,45 TWh/år, dvs. nästan 25 %, att härleda till hästgödsel. För att sätta detta i ett perspektiv kan nämnas att potentialen från hästgödsel är lika stor som den samlade biogasproduktionen från allt industriavfall, matavfall och gödsel som rötades 2010 (Energimyndigheten, 2011).

Detta projekt fokuserar på möjligheten att utnyttja den biogaspotential som hästgödsel utgör, genom att samröta hästgödseln tillsammans med flytgödsel i konventionella våtröttningsanläggningar. Våtrötning är en relativt väletablerad teknik i Sverige med ett femtiotal anläggningar, från små gårdsanläggningar till stora kommunala samröttningsanläggningar. Flytgödsel innehåller stora mängder vatten i förhållande till rötbart material. Den höga vattenhalten gör att det finns både tekniskt och mikrobiologiskt utrymme att tillföra fasta substrat för att öka biogasproduktionen. Idag nyttjas detta utrymme vanligtvis till att röta lättomsättbara och energirika substrat som t.ex. slakteriavfall och rester från livsmedelsindustrin. Men i takt med att konkurrensen om dessa substrat ökar blir det mer intressant att använda mer svåromsättbara substrat, såsom hästgödsel.

Rötning är en gödselbehandlingsteknik som gör det möjligt att utnyttja gödselns energipotential samtidigt som dess växtnäringspotential förbättras. Våtrötning innebär att hästgödseln konverteras till flytande gödsel. Flytgödsel är ett mer homogent gödselmedel som är lättare att dosera och sprida jämnt, och som även går att sprida i växande grödor som t.ex. vall (Malgeryd m.fl., 2002). Tillsats av fastgödsel höjer även koncentrationen av näringsämnen i rötresten jämfört med att endast röta flytgödsel.

Biogasproduktionen vid rötning av flytgödsel är vanligtvis ungefär 15-20 m³/ton. Hjort-Gregersen (1998) anger att biogasproduktionen för danska storskaliga anläggningar bör vara 35 m³/ton för att det skall gå att få ekonomi på anläggningen, under förutsättning att det inte utgår något investeringsbidrag eller att anläggningen får intäkter i form av behandlingsavgifter. Detta har vanligtvis åstadkommits genom tillsats av energitäta och lättomsättbara substrat, men skulle i teorin även kunna uppnås genom samrötning med fasta gödselslag, exempelvis hästgödsel

Rötning av hästgödsel är dock tekniskt sett mer utmanande än rötning av lättomsättbara substrat. Utmaningar som ofta lyfts fram är bl.a. svårigheter med sedimentation, svämtäckesbildning, pumpning och omrörning. Tidigare har Nordberg och Edström (1997) demonstrerat fungerande driftstrategier med mycket hög biologisk belastning och hög TS-halt (torrsubstanshalt) i rötkammaren. Ett nyckelkoncept i dessa försök var att det fiberrika substratet (vallgröda) sönderdelades väl.

Hästgödsel har en lägre teoretisk biogaspotential, och är ofta torrare än djupströbädd och annan fastgödsel från nöt och svin (Nordberg & Nordberg, 2007). Hästgödsel innehåller en förhållandevis hög andel strömedel, vilket påverkar biogasutbytet från gödselblandningen. De vanligast förekommande strömedlen är spån, torv och halm (Enhäll m.fl., 2012).

Inom detta projekt genomförs dels en labbstudie av de olika strömedlens inverkan på biogaspotentialen, dels genomförs försök i fullskala inriktat på att dokumentera tekniska erfarenheter relaterat till rötning av hästgödsel. I de praktiska försöken utvärderas behov kopplat till förbehandling av gödseln. Vidare dokumenteras erfarenheter kring omblandning av rötkammarna samt pumpning och breddning av rötkammarinnehåll. Med detta som grund genomförs sedan en ekonomisk och teknisk utvärdering av systemet med avseende på hästgödsel som höginblandat samrötningssubstrat i totalomblandad våtröttningsprocess.

3.2 Syfte

Syftet med projektet är att möjliggöra rötning av betydande mängder hästgödsel i befintliga biogasanläggningar och därmed förvandla ett kvittblivningsproblem till en resurs.

3.3 Mål

Projektet har följande mål:

1. att demonstrera ett system för att konvertera hästfastgödsel till flytgödsel med tillräckligt hög sönderdelningsgrad så att effektiv omblandning av konventionell våtrötkammare inte hindras
2. att ingen färskvattentillsats skall vara nödvändig vid konvertering av hästgödsel till flytgödsel
3. att hästgödseln skall bidra med mer än 10 ggr så mycket energi (biogas) som förbehandlingen av densamma kräver (el)
4. att visa att hästgödsel kan samrötas med nötflytgödsel i sådana proportioner att minst 50 % av biogasen härrör från hästgödseln

5. att fastställa hur stor del av gödselblandningens gaspotential som faktiskt utvinns vid våtrötning i en mindre biogasanläggning
6. att ta fram en tekniskt motiverad behandlingsavgift för hästgödsel utifrån beräknade kostnader för transport, lagring, konvertering till flytgödsel och eventuell hygienisering av hästgödsel samt beräknade intäkter från hästgödselrelaterad biogasproduktion och värdet av hästgödselns växtnäring efter rötning.

4 Material och metod

4.1 Försöksupplägg

Projektet har bestått av tre huvudmoment:

- Satsvisa utrötningsförsök och sammansättningsanalyser på hästgödsel från fyra olika gårdar som använt olika strömedel (spån, halm och torv).
- Fullskaleförsök vid Sötåsens Naturbruksgymnasium.
- Utvärdering av försöksresultaten och hur dessa kan påverka ekonomin vid en svensk gårdsbiogasanläggning.

4.1.1 Gödselmängder som rötades vid fullskaleförsök

Fullskaleförsöken vid Sötåsens Naturbruksgymnasium genomfördes under sommaren 2013. Försöken bestod av två försöksled med hästgödsel från två olika gårdar. Under försöksled 1 (FL1) rötades 120 ton hästgödsel från gård 1 som enbart använde spån som strömedel, medan det under försöksled 2 (FL2) rötades 134 ton hästgödsel från gård 2 som både använde halmpellets och spån som strömedel (Tabell 1). Det fanns betydande inslag av halm och foderrester i hästgödseln under båda försöksleden.

Tabell 1. Tidsperioder för försöken vid Sötåsens Naturbruksgymnasium och gödselmängder som rötades.

	Period	Total mängd hästgödsel	Hästgödsel	Flytgödsel
FL1	2013-05-22	120 ton	1,2 ton/dag	ca 4 (3-5) ton/dag
Spån som strömedel	2013-08-30 (100 d)			
FL2	2013-08-30	134 ton	1,6 ton/dag	7 ton/dag *
Halmpellets och spån som strömedel	2013-11-19 (81 d)			

* Med urinspädning inräknat, exkluderas denna är siffran 6,3 ton/dag

Ursprungsplanen var att det under försöksled 2 skulle rötas gödsel från hästgård som enbart använde halm som strömedel. Detta var dock inte praktiskt genomförbart. Tolkning av rådande regelverk medför att hygienisering krävs av extern gödsel som rötas vid en gårdsbaserad biogasanläggning om den tar emot gödsel från fler än två gårdar. Gårdsanläggningen på Sötåsen saknar hygieniseringskapacitet, vilket medför att försöket begränsades av att endast kunna ta emot hästgödsel från två hästgårdar. Behovet av hästgödsel vid varje försöksled var dock så

pass stort att det, med gällande begränsning av antalet levererande hästbesättningar, krävdes besättningar om minst ca 100 hästar för att kunna producera tillräckliga mängder gödsel. Gårdar med detta antal hästar är relativt få. Det fanns enbart två lämpliga gårdar inom rimligt transportavstånd som hade kapacitet att förse Sötåsens gårdsanläggning med tillräckligt stora mängder färsk hästgödsel. Den ena gården använde enbart spån som strömedel (FL1) medan den andra gården (FL2) inledningsvis under försöket både använde spån och halmpellets som strömedel. En bit in i försöket fasade tyvärr denna gård ut halmpelletsen som strömedel, varför det under FL2 endast rötades ungefär 45 ton hästgödsel där strömedlet utgjordes av halmpellets, resterade hästgödsel som rötades hade liksom under FL1 spån som strömedel.

Hästgödseln lastades i containrar och transporterades till Sötåsen. Hästgödseln lagrades i dessa transportcontainrar tills den rötades.

4.1.2 Biogasanläggningen vid Sötåsens Naturbruksgymnasium

Sötåsens Naturbruksskola har ca 260 elever och bedriver huvudsakligen gymnasieutbildning med inriktning mot Lantbruk och Djur. Gården har 202 ha åkermark där det bedrivs ekologisk produktion. Den flytgödsel som rötas kommer från gårdens mjölkproduktion. Gården har en besättning på ca 70 mjölkkor (hälften SLB och hälften SRB) i ett lösdriftstall. Mjölkkornas foderstat utgörs dels av en grovfoder-giva på ca 11 kg TS/ko&dag (ensilerad vallgröda), dels av en kraftfoder-giva på maximalt 12 kg/ko& dag bestående av 47 viktprocent havre- och kornblandning, 37 % vete/rågvet, 15 % ärtor/bönor och 3 % foderfett. Under installationsperioden produceras ca 5-10 ton flytgödsel per dag och under betesperioden sjunker denna produktion till under 5 ton/dag.

Sötåsens biogasanläggning har två rötkammare kopplade i serie, vardera med en volym på 260 m³, vilka har uppförts av Götene Gårdsgas AB. Den första rökammaren (RK1) har en bottenomrörare av märket CRI-MAN; snabbroterande frekvensstyrd propelleromrörare med ca 5,5 kW märkeffekt för kontinuerlig drift. Både RK1 och efterrötkammaren (RK2) har varsin ytomrörare (Suma Giantmix) sidomonterad med 11 kW märkeffekt som drivs intermittent. Enbart RK1 har ett uppvärmningssystem (rötning sker vid 38 – 41 °C), medan RK2 har ett system för att sänka rötningstemperaturen (sommartid ner till ca 30 °C och vintertid till ca 20 °C) och samtidigt förvärma flytgödseln som beskickas RK1. Den flytgödsel som skall rötas samlas upp i en pumpbrunn med nivåmätare. I pumpbrunnen finns en centrifugalpump som pumpar in flytgödsel i rötkammaren.

Biogasen används huvudsakligen till kraftvärmeproduktion med ca 15 kW eleffekt, vilket motsvarar en biogasförbrukning på 10 m³/timme. Överskottsproduktionen används för värmeproduktion i en gaspanna. Det finns även en fackla för att hantera eventuella driftsstopp hos motorn och pannan. För att minska mängden svavelväte i biogasen tillförs RK1 ca 4 L luft/minut. Gasproduktionen har mätts med bälggasmätare, till motorn med Actaris ACDG16 och till panna/fackla med Actaris G6 RS1. Dock har driftproblem uppstått för gasmätaren till panna/fackla och därför har gasförbrukningen för dessa estimerats fram utifrån drifttiden samt antagandet att pannan konsumerar 7-10 m³/h. Gaskvalitetsmätning gjordes med en Sewerin SR2-DO.

4.1.3 Utrustning för hantering av fastgödsel

Hästgödseln konverteras till en pumpbar slurry genom att den från en mixer-behållare matas in i en pumpbrunn på 10 m³ fylld med rötrest. I pumpbrunnen blandas sedan hästgödseln och rötresten av en centrifugalpump med propeller-omrörare av fabrikatet Doda (Super ME 120 ULT) som drivs av en 22 kW el-motor. Vid behov går det även att utrusta systemet med en våt sönderdelningsutrustning (t.ex. en macerator eller kvarn) i serie med centrifugalpumpen för ytterligare sönderdelning av fibrer.

Figur 1 visar utrustningen som användes för att konvertera hästgödseln till en pumpbar slurry. Systemet styrs av en PLC. Inbladningen av hästgödsel sker i omgångar genom en sekvens där det först tillförs rötrest till blandningsbehållaren, varpå hästgödsel doseras stegvis under cirkulationspumpning genom skärande centrifugalpump till rätt blandningsförhållande. Därefter blandas den färdiga gödselblandningen ytterligare med hjälp av centrifugalpumpen, för att sedan låta vätskan stå stilla och låta sediment som grus och sten falla till botten innan in-pumpning i rötkammaren. Brunnen är även utrustad med en sarg på botten för att ytterligare förbättra sedimenteringsegenskaperna.



Figur 1. Utrustning som användes under fullskaleförsöken för att konvertera hästgödseln till en pumpbar slurry.

4.1.4 Teknisk uppföljning

Det totala el- och värmebehovet för biogasanläggningen mättes med anläggningens interna mätutrustning. För elmätning finns tre separata mätare installerade. Den första mätaren mäter total elproduktion från kraftvärmeenheten. Den andra mätaren mäter den mängd el som levereras till skolan samt den el anläggningen under vissa perioder förbrukar från skolans nät. Den tredje mätaren mäter den el som utrustningen för fastgödselhantering förbrukar, denna utrustning matas separat från skolans nät och påverkas inte av elproduktionen vid biogasanläggningen. Biogasanläggningens elförbrukning beräknas därefter utifrån att differensen mellan producerad el och levererad el adderas med den el som förbrukats från skolans nät. Värmeproduktionen mäts dels som rötkammarens värmeförbrukning, dels den mängd värme som levereras till skolans närvärmenät.

Utöver mätningen av totala elförbrukningen loggades även drifttider för omrörare samt sönderdelningsutrustningen. Elförbrukningen för de två sidomonterade

omrörarna mättes vid ett fåtal tillfällen med hjälp av en tångampermeter, vilken bekräftade att dessa förbrukade ungefär motsvarande elmotorernas märkeffekt. Den dränkbara omröraren drivs via en frekvensomvandlare och effektbehovet för denna går att hämta direkt från frekvensomvandlaren. På konverteringsanläggningen genomfördes effektmätningar direkt på centrifugalpumpen under pågående arbete genom att koppla en PC mot enhetens frekvensomvandlare. Dessa data har använts för att beräkna de olika komponenternas påverkan av totala elbehovet för anläggningen.

Utöver detta noterades även tekniska störningar och driftproblem relaterade till rötning av hästgödsel. Dessa bestod främst av svämtäckesbildning, sedimentation, stopp i pumpar och breddavlopp. Även arbetsbehovet för drift av anläggningen följdes upp.

4.1.5 Dokumentation av biogasprocessen

Biogasprocessen har dokumenterats genom:

- Vägning av hästgödseln och volymbestämning av nötflytgödseln som dagligen rötas för beräkning av belastning och uppehållstid
- Kemisk karakterisering av de gödselslag som rötades samt rötresten med avseende på TS, askhalt och växtnäringsinnehåll
- Registrering av gasproduktionen samt biogasens metanhalt
- Mätning av pH-värde på slam
- Mätning av flyktiga fettsyror vid behov

4.1.6 Ekonomisk utvärdering

Anläggningsekonomi utvärderas för att klarlägga om samrötningen med hästgödsel innebär en nettokostnad eller nettoförtjänst för anläggningsägaren. Detta görs genom att det i modellen införs en behandlingsavgift för varje ton hästgödsel som rötas. Med behandlingsavgift menas i denna rapport en kostnad för hästägaren som betalas till biogasanläggningen för att denna tar emot gödseln och behandlar den. Transportkostnaden är inte inräknad i behandlingsavgiften. Behandlingsavgiften kan i denna rapport även vara negativ, vilket betyder att det då finns ett betalningsutrymme från anläggningens sida. Detta utrymme skulle i sådana fall kunna användas för att bära t.ex. transportkostnader.

Utvärderingen inkluderar även ett teoretiskt fall som inkluderar hygienisering, vilket vanligtvis krävs för att gödsel som blandats från ett flertal gårdar sedan skall få spridas på åkermark (Jordbruksverket 2011 b). Utvärderingen baseras på beräkning av följande faktorer:

- Transportkostnad av hästgödsel till biogasanläggningen
- Kostnad för lagring av hästgödsel vid biogasanläggningen
- Kostnad för konvertering av hästgödsel till flytgödsel
- Kostnad för hygienisering (ett fall med, ett fall utan)
- Kostnad för lagring och spridning av hästgödselrelaterad rötrestvolym
- Intäkt för hästgödselrelaterad biogasproduktion (dvs. värme och el)
- Värdet av hästgödselrelaterad växtnäring i rötresten

Utifrån detta tas en tekniskt motiverad behandlingsavgift fram för rötning av hästgödsel i konventionell våtrötningsanläggning med och utan hygienisering.

Huruvida rötning av hästgödsel i framtiden kommer att vara förenad med en behandlingskostnad samt nivån på denna, kommer naturligtvis att bestämmas av den lokala marknaden.

4.2 Analyismetoder

4.2.1 Växtnärings- och TS-analyser

Substraten och rötkammarinnehåll analyserades med avseende på TS, VS, N-tot, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K och S vid kommersiellt laboratorium (Agrilab AB). Laboratoriets mätnoggrannhet var 15 % för växtnäring och mineraler samt 1 % för TS- och VS-halter. Vidare genomfördes analyser av enbart TS och VS vid JTI vid ett flertal tillfällen.

4.2.2 Satsvis utrötning

Satsvis utrötning genomfördes på färsk hästgödsel med fem olika gödselfraktioner från fyra olika gårdar för att kartlägga gasutbyte och nedbrytningshastighet. Vidare genomfördes satsvisa utrötningar på tre olika strömedel för att identifiera hur dessa strömedel bidrar till hästgödselns gaspotential.

Provtagningen genomfördes genom att färsk gödsel togs från gödsellagret och blandades i en 40-litersbehållare. Därefter togs en mindre provmängd från behållaren. Inför utrötningförsöken förbehandlades proverna genom att halm och strån längre än 2 cm klipptes ned till mindre än 2 cm. I övrigt sönderdelades inte proverna mer. Däremot blandades proverna i en behållare så att gödseln fördelade sig jämnt tillsammans med strömedlet.

Försöken utfördes i 1 L-flaskor (3 replikat per prov) vid 37 °C. Gasproduktionen beräknas genom att trycket i flaskorna mäts med en digital tryckmätare (GMH 3110). Trycket konverterades därefter till normal gasvolym (1 atm och 0 °C). Metanhalt analyseras med gaskromatograf (PerkinElmer ARNEL, Clarus 500). Metanproduktionen bestäms som normal-ml $\text{CH}_4/\text{g VS}$ och normal- $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton våtvikt}$. Försöken pågår i drygt 90 dagar.

4.2.3 Fraktionsbestämning

Partikelstorleken bestämdes på den gödsel som rötades vid Sötåsen liksom för den rötade gödselblandningen. Partikelstorleken bestämdes via våtsilning med en maskstorlek på 4 mm, 2 mm och 1 mm. Dessa silar placeras ovanpå varandra. Därefter läggs en känd mängd av materialet på silen. Därefter spolas materialet med en riklig mängd vatten.

Den uppsamlade mängden torkas därefter i 105 °C och vägs. Därefter går det att bestämma andelen av våtvikt för de olika fraktionerna, och utifrån TS-halten i ursprungsmaterialet går det även att göra en grov bedömning av andelen av TS i de olika fraktionerna.

4.2.4 Viskositet

Viskositetsmätningar genomfördes på rötkammarinnehåll från rötkammare 1, rötkammare 2, flytgödsel samt på blandningen av rötrest och hästgödsel där hästgödseln konverterades till en pumpbar blandning innan rötning. Bestämningen av viskositeten genomfördes på prov tagna mot slutet av respektive försöksperiod.

För att bestämma viskositeten har en rotationsviskosimeter med beteckning Brookfield LV model LVDV-II+ med spindel nr 34 använts, vilken mäter viskositeten vid skjuvhastigheter upp till 28/s. Viskositeten har bestämts vid en temperatur på 37 °C.

4.2.5 Massbalansberäkningar

Vid tolkningen av de uppnådda resultaten och vid de ekonomiska kalkylerna har värdena för TS-halt och växtnäringssinnehåll i rötkammaren beräknats baserat på att jämviktsförhållanden uppnåtts i rötkammaren. Beräkningen bygger på massbalanskalkyler över röttningsprocessen. Principen var att:

$$\text{Substratinflöde} = \text{rötrestutflöde} + \text{biogas}$$

Vidare var metodiken att:

1. Substratinflödet karakteriserades med hjälp av analys som genomförts på fast- och flytgödseln. Inflödet av torrsubstans, VS och växtnäring till rötkammaren beräknas utgående från inmatad mängd gödselblandning.
2. Massan hos den dygnsbaserade biogasproduktionen för aktuell period bestämdes via förenklingen att den bara bestod av metan och koldioxid och där vikten för respektive komponent beräknades.
3. Densiteten för metan har ansatts till 0,708 g/NL och koldioxid 1,951 g/NL Wester (1983).
4. Producerad mängd rötrest och dess TS-halt beräknades genom att låta biogasens vikt motsvara den torrsubstansförlust som substratet fick vid rötning. Inflödet av växtnäring till rötkammaren antas vidare vara lika stor som utflödet av växtnäring.
5. Uppnådd andel ammoniumkväve av totalkvävet vid röttningsförsöket antas också råda då jämvikt inträffat i röttningsprocessen.
6. En förutsättning för att god noggrannhet ska kunna uppnås med denna massbalansbaserade beräkningsmetod är att sammansättningen i rötkammaren inte ändras över tid, dvs. att det råder jämvikt inom det studerade systemet.

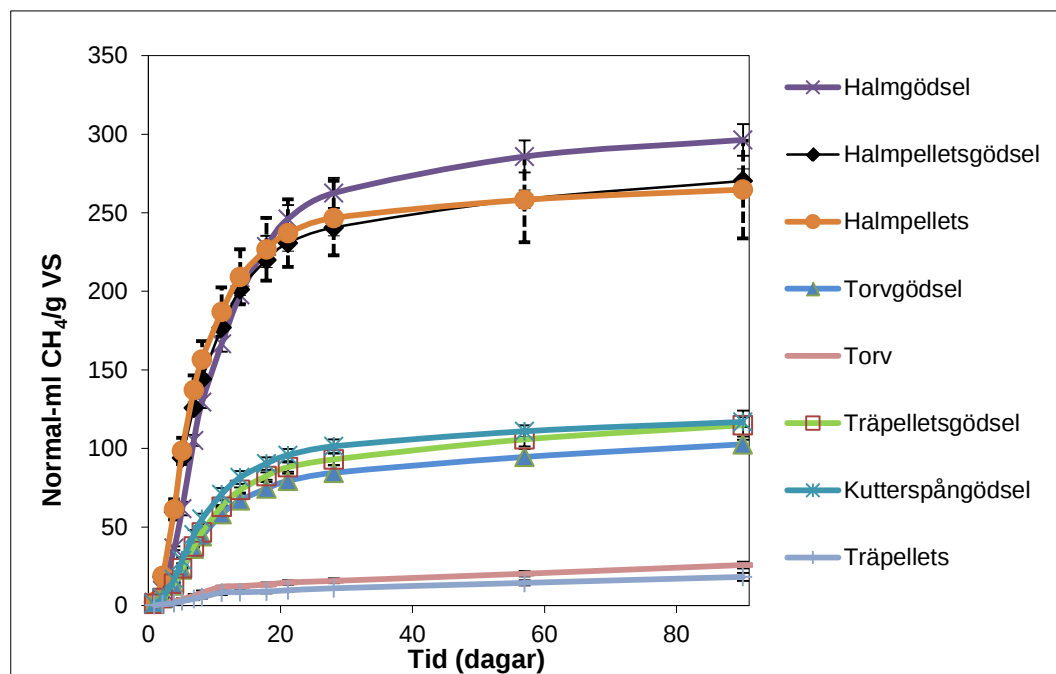
5 Resultat

5.1 Hästgödselns sammansättning och potential för gasproduktion

Hästgödsel innehåller betydande mängder strömedel. Därför kommer valet av strömedel att ha en stor inverkan både på gödselns sammansättning och på gasutbytet vid rötning.

5.1.1 Satsvisa utrötningsförsök

För att kvantifiera strömedlets betydelse genomfördes satsvisa utrötningsförsök på hästgödsel från fem olika stallar där olika strömedel använts (halmpellets, halm, träpellets, kutterspån och torv). Vidare genomfördes satsvisa utrötningsförsök på strömedlen halmpellets, träpellets och torv. Resultaten från dessa utrötningsförsök redovisas i Figur 2. Redovisade potentialer ligger i linje med resultaten från tidigare studier genom satsvis utrötning, exempelvis Mönch-Tegeder m.fl. (2013) och Nilsson (2000). Wennerberg och Dahlander (2013) genomförde en litteratur-sammanställning av data från utrötningsförsök och även dessa stämmer väl med de resultat som presenteras i denna rapport. Resultaten redovisade i Figur 2 visar att hästgödsel från stall som använder torv alternativt träpellets som strö har en låg biogaspotential jämfört med hästgödsel från stallar som använder halm alternativt halmpellets. Vidare visar försöket att gasutbytet från strömedlen torv och träpellets är väldigt lågt, medan gasutbytet från strömedlet halmpellets ligger på samma nivå som hästgödsel från stallar som använder halm/halmpellets som strö.



Figur 2. Metanproduktion vid satsvisa utrötningsförsök för torv-, halm- och spånströdd hästgödsel samt respektive strömedel.

5.1.2 Hästgödselns sammansättning

TS-halten på den hästgödsel som rötades under försöket visade sig variera mycket, från 30 till 55 %, med vissa extremfall upp mot 70 % av våtvikten. Den stora variationen var mellan olika gårdar. Vissa gårdar låg i det nedre området (30-40 % TS) och några gårdar var i det övre området (35-50 % TS). Hästgödselns VS-innehåll utgjorde ungefär 90 % av torrsubstansen, men varierade mellan 84 och 93 %. I Tabell 2 redovisas hästgödselns innehåll av kväve, fosfor och kalium för respektive strömedel och gödselblandning som det gjordes utrötningsförsök på. Alla gödselanalyser som genomfördes i detta projekt finns redovisade i Bilaga 1, inklusive gödsel som rötades i Sötåsens gårdsbaserade biogasanläggning. Innehållet av växtnäring i de analyserade hästgödselproverna är i samma storleksordning som rapporterats i en litteratursammanställning av Edström m.fl. (2011). Dock redovisar Edström m.fl. (2011) i likhet med detta projekt en stor spridning. Noterbart är att innehållet av ammoniumkväve är dubbelt så högt för hästgödsel där torv används som strömedel jämfört med när halm eller spån används som strömedel, Tabell 2. Detta ligger väl i linje med vad Steineck m.fl. (2000) rapporterar, dvs. att ammoniakförlusterna från gödsel där torv används som strömedel blir lägre jämfört med när halm eller spån används som strömedel. Analyserna på strömedlen visar att fosfor- och kaliuminnehållet i halm är betydligt högre jämfört med torv och spån. Däremot är totalkväveinnehållet högre i torven. Detta kan också ha bidragit till att totalkvävehalten i hästgödsel där torv har används som strömedel var högre än då halm eller spån användes som strömedel, se Tabell RX1.

Tabell 2. Växtnäringsinnehåll, uttryckt som kg/ton TS, för dels strömedel, dels hästgödsel där specifikt strömedel har använts.

	Totalkväve		Ammonium		Fosfor		Kalium	
	Strö	Gödselblandning	Strö	Gödselblandning	Strö	Gödselblandning	Strö	Gödselblandning
Spån	7,3	16	0,57	3,3	0,10	1,3	0,68	14
Torv	14	23	0,01	6,3	0,26	1,4	0,60	12
Halm	8,0	19	0,06	3,2	0,92	3,6	9,9	18

5.2 Rötning av hästgödsel vid Sötåsen

Försöken med fullskalerötning av hästgödsel syftade främst till att utvärdera tekniska aspekter kring rötning av hästgödsel. Men det genomfördes även en uppföljning av själva biogasprocessen. Data från denna uppföljning redovisas nedan.

5.2.1 Gödselns sammansättning

TS-halten på hästgödseln som rötades under försöksled FL1 var ungefär 50 %, med ett spann från 69 % ned till 41 %. Hästgödseln som rötades under FL2 hade en lägre TS-halt, ca 37 %, med en spridning från 31 % till 49 %. TS-halten i flytgödseln har varierat mellan 5 och 10 % och medel för hela försöksperioden var 7 %. Variationen antas bero på att brunnen för flytgödsel inte rörs om mer än när den fylls på samt att det leds regnvatten till den från hårdgjorda ytor. På grund av de stora variationerna i TS-halt har det inte gjorts någon bedömning av vilken TS-halt flytgödseln hade under respektive försöksled.

5.2.2 Belastning, biogasproduktion, gaskvalitet och pH

Det som skiljer försöksled 1 och 2 åt är att det rötades gödsel från två olika stall. Försöksled 1 inleddes i slutet av maj 2013, några veckor innan betessläpp. Under båda försöksleden var det främst spångödsel som rötades, undantaget en period på ca 3 veckor i början av försöksled 2 då lagrad halmpelletsödsel rötades.

I Tabell 1 redovisas mängden hästgödsel som rötades under respektive försöksled samt rötningsprocessens driftsparametrar. Den specifika metanproduktionen för gödselblandningen som rötades vid Sötåsen var ungefär 125-130 m³/ton VS. Tabell 3 redovisar en sammanställning av driftsdata från försöken vid Sötåsen. I Bilaga 2 finns data över driftsparametrar sammanställda i diagramform.

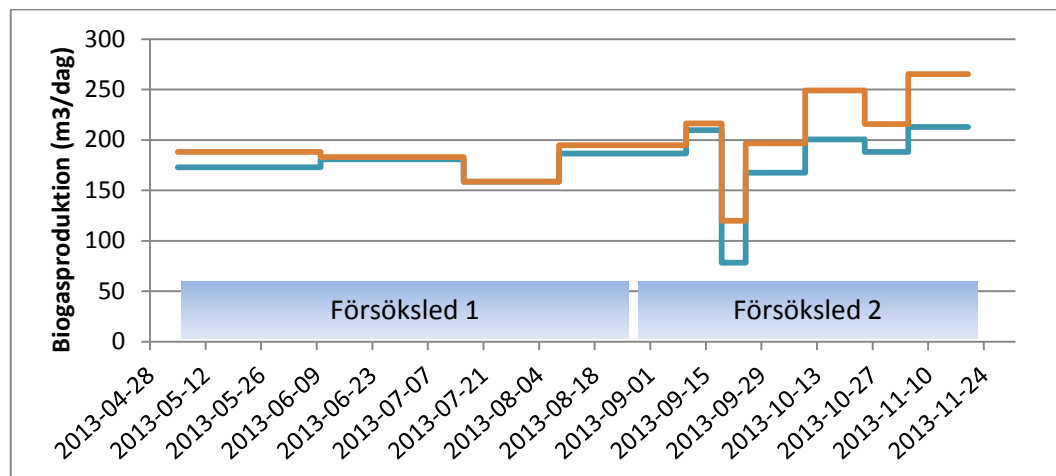
Tabell 3. Driftsparametrar under försöksled 1 och 2.

	FL1	FL2	
Organisk belastning	2,9	3,6	kg VS/m ³ och dag
Andel från hästgödsel	69 %	56 %	av tillförd VS till rötammaren
Uppehållstid i RK1	50	30	Dagar (baserat på inflöde)
Volymetrisk biogasproduktion	0,67	0,83	m ³ _{biogas} /m ³ _{rötkammavolym} och dag
Specifik metanproduktion	125	131	m ³ /ton VS
Biogasens metanhalt	55	56	%
Biogasens koldioxidhalt	38	36	%
Svavelväte i biogasen	165	125	PPM
Syre i biogasen	0,3	1	%
pH på slam från RK1	7,6	7,5	
pH på slam från RK2	7,6	7,6	
Rötningstemperatur för RK1	41	40	°C
Rötningstemperatur för RK2	30	29	°C

Tillsatsen av hästgödsel gjorde att biogasproduktionen kunde bibehållas på en nivå på drygt 170 m³/dag när betesperioden inleddes och flytgödselmängden minskade. Detta kan jämföras med sommaren 2011 då biogasproduktionen under motsvarande period sjönk till ca 100 m³/dag då i princip enbart gårdens producerade nötflytgödsel rötades.

Under andra försöksledet steg gasproduktionen till följd av installning av djur mot slutet av försöksledet, vilket ökade flytgödselproduktionen. Den ökade flytgödselproduktionen går att avläsa som ökad biogasproduktion i Figur 3. Under andra försöksledet var medelbiogasproduktion ungefär 212-222 m³/dag. Angivet intervall beror på osäkerheten i mätningen av gaspannans biogasförbrukning. Huvuddelen av den producerade biogasen användes för kraftvärmeproduktion och mängden uppmättes med en gasflödesmätare. Däremot var gasflödesmätaren för den biogas som tillfördes gaspannan ur funktion, men pannans drifttid registrerades. Baserat på denna drifttid har gasmängden som konsumerades av pannan uppskattats med utgångspunkt i antagandet att pannan förbrukar 7-10 m³/h. Figur 3 visar hur biogasproduktionen har varierat under de två försöken. Gasproduktionen är angiven som två kurvor, där den övre bygger på antagandet att gaspannan kon-

sumerar 10 m³/h och den undre endast visar gasmotorns konsumtion. Under andra halvan av försöksled 1 var det återkommande problem med igensättning i breddningen mellan RK1 och RK2. Detta gjorde att flytgödselinmatningen periodvis avbröts, vilket resulterade i en något lägre biogasproduktion.



Figur 3. Den totala biogasproduktionen och endast gasmotorns biogaskonsumtion under försöksled 1 och 2.

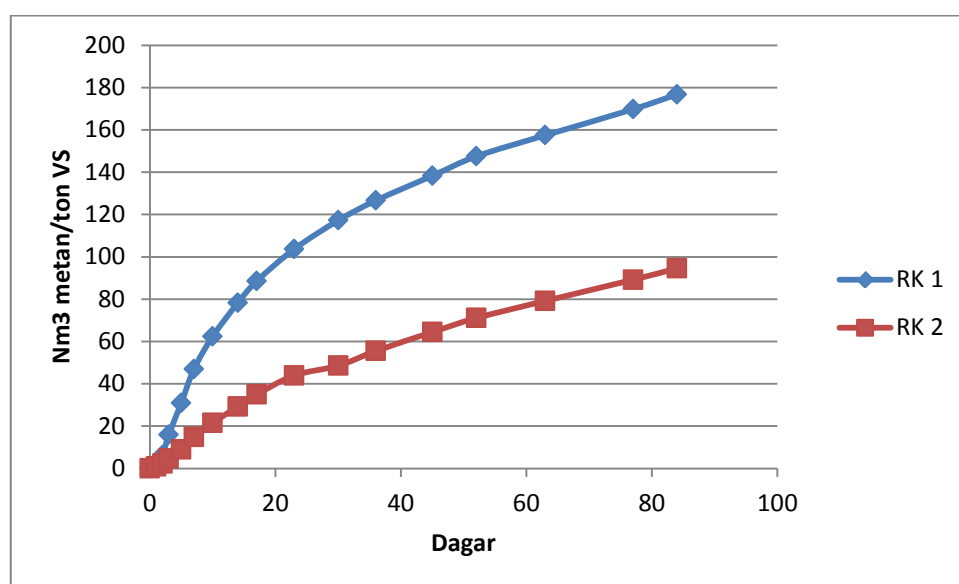
En bit in i försöksled 2 uppstod ett svämtäcke i efterrötkammaren som inte gick att bryta med hjälp av omröraren. Detta åtgärdades genom spädning av huvudrötkammaren för att på så sätt även späda efterrötkammaren. Det gjorde att temperaturen gick ned i huvudrötkammaren under en kortare period. Under denna period gick även biogasproduktionen ned drastiskt, vilket syns i Figur 3.

5.2.3 Rötrestens sammansättning och potential att producera gas

Växtnäringssammansättningen för rötkammarinnehållet för RK1 och RK2 under försöksled 1 och 2 var relativt lika (se Bilaga 1). TS-halten i huvudrötkammaren var i medel 7,5 % av våtvikten under de två försöksleden och TS-halten i efterrötkammaren var i medel 6,4 %. Det bör dock nämnas att provtagning från både huvud- och efterrötkammaren var problematisk, och att det förekom en stor spridning i resultaten. Perioden innan spädningen utfördes av rötkammaren under FL2 varierade mätvärdena för TS-halten i huvudrötkammaren, vanligtvis mellan 7,5 och 8,5 % av våtvikten.

Trots att TS-halten i medel var lika i FL1 och FL2, bedöms varken rötkammare RK1 eller RK2 ha nått en ny jämvikt gällande dess sammansättning då dessa analyser genomfördes. Detta beror dels på att FL1 hade pågått för kort tid i relation till anläggningens hydrauliska uppehållstid för att jämvikt skulle uppnås, dels att det förekom betydande spädningsinsatser med urin under FL2 för att bryta uppkommet svämtäcke som påtagligt påverkade sammansättningen på det slam som fanns i RK1 och RK2. Därför bör analyserna på rötkammarinnehåll hanteras med försiktighet och främst ses som ett mätvärde längs vägen mot den sammansättning som uppnås vid jämvikt. I kapitel 7 i denna rapport genomförs därför en teoretisk beräkning av sammansättningen för en rötningsprocess som uppnått jämviktsbetingelser.

I Figur 4 redovisas resultat från satsvisa utrötningsförsök som gjorts på rötkammarinnehåll från RK1 och RK2 från slutet av första försöksledet. Kurvan för RK1 visar att det finns en betydande kvarvarande metanbildningspotential och att lutningen är störst de första 20 dagarna för att därefter minska något. Efter 40 dagars satsvis utrötning erhöles närmare 130 Nm³ metan per ton VS, vilket är ungefär lika som Edström m.fl. (2013) rapporterade vid samrötning av djupströgödsel och nötflytgödsel vid Sötåsens gårdsanläggning. Potentialen för att producera biogas från efterrötkammare RK2 är ca 60 Nm³ metan per ton VS. Detta är halva värdet av vad Edström m.fl. (2013) rapporterade vid samrötning av djupströgödsel och nötflytgödsel. Orsaken till denna skillnad kan dels bero på att temperaturen i RK2 var ca 30 °C medan Edström m.fl. (2013) rapporterar att RK2 drevs vid ca 25 °C. Skillnaden kan även bero på att väsentligt mer djupströgödsel hade rötats jämfört med hästgödsel vid tidpunkten för då rötkammarinnehåll från RK2 togs ut för bestämning av restgaspotentialen av Edström m.fl. (2013).



Figur 4. Utrötningsförsök på RK1 och RK2 från slutet av första försöksledet.

5.2.4 Partikelstorlek och viskositet

Fraktionsbestämningen med hjälp av silar genomfördes på ett spånhästgödselprov från första försöksledet och ett halmpelletsgödselprov från andra försöksledet. Nästan hälften (ca 45 %) av all TS i gödseln från första försöksledet utgjordes av partiklar större än 4 mm. Vid manuell utsortering av strån från den fraktionen blev resultatet att ca 19 % av torrsubstansen i hästgödseln i provet från första försöksledet utgjordes av halm och foderrester. Alltså bestod knappt hälften av de partiklar som var större än 4 mm av strån och resten utgjordes främst av sågspån. Halmpelletsgödseln hade en något lägre fraktion av partiklar större än 4 mm (ca 35 %). Halmpelletsgödseln hade en större andel partiklar i storleken 1-4 mm jämfört med spångödseln, där ca 45 % var partiklar större än 4 mm och ca 36 % partiklar mindre än 1 mm. Mer information finns i Bilaga 1, observera dock att dessa data baseras på ett fåtal prover.

Jämförs sammansättningen i hästgödselproverna med sammansättningen i flytgödseln märks det att andelen TS som har en mindre partikelstorlek än 1 mm är betydligt högre i flytgödseln. Ungefär 63 % av TS fanns i fraktionen < 1mm för

flytgödsel, vilket kan jämföras med 16-20 % för hästgödseln. Andelen av TS som var större än 4 mm i flytgödseln var ca 17 %, vilket kan jämföras med rötkammarinnehållet där ca 29 % i huvudrötkammaren och 21 % i efterrötkammaren var större än 4 mm.

Viskositeten har bestämts för rötkammarinnehåll, flytgödsel samt hästgödsel som konverterats till en pumpbar slurry. Alla dessa fraktioner har icke-newtonska egenskaper varför viskositeten har bestämt via en potensfunktion där y är viskositeten (Pa s) och x är skjuvhastigheten (1/s), se Tabell 4 och Bilaga 1. Dessa mätningar har genomförts på prover tagna vid två tillfällen. Viskositeten är lägre för rötkammarinnehållet jämfört med flytgödseln vid första mättillfället trots att rötkammarinnehållet hade en högre TS-halt. Vid andra mättillfället hade flytgödseln en högre TS-halt jämfört med rötkammaren.

Vid konverteringen av hästgödsel till pumpbar slurry uppnåddes högre TS-halter än vad det finns redovisad viskositetsdata för. Detta beror på att det inte gick att bestämma viskositeten för dessa med den utrustning som användes.

Tabell 4. Viskositet för rötkammarinnehåll, nötflytgödsel och hästgödselslurry.

		TS	Ekvation
FL1	RK1	8,34	$y = 0,83x^{-0,368}$
FL1	RK2	6,68	$y = 0,22x^{-0,422}$
FL1	Flytgödsel	6,89	$y = 3,23x^{-0,631}$
FL2	RK1	7,58	$y = 1,00x^{-0,432}$
FL2	RK2	7,07	$y = 0,69x^{-0,510}$
FL2	Flytgödsel	8,52	$y = 6,83x^{-0,711}$
	Konverterad hästgödsel	9,60	$y = 1,72x^{-0,615}$
	Konverterad hästgödsel	9,56	$y = 1,79x^{-0,375}$

5.3 Tekniska och praktiska erfarenheter

5.3.1 Transport av hästgödsel

Transporten av hästgödsel sköttes med hjälp av lastbil och släp med lastväxlarcontainers på 30 m³. Även med den torraste hästgödseln som hade lägst densitet gick det att fylla containrarna till full vikt, vilket var ungefär 10-13 ton hästgödsel per container. Detta betyder att densiteten på all gödsel överskred 300 kg/m³ och att vikten, snarare än volymen, var den begränsande faktorn för mängden gödsel som kunde transporteras med lastbil. När den fuktigaste hästgödseln transporterades uppstod problem med att det lastades för mycket i varje container.

5.3.2 Åtgärder för att minska risken för smittspridning

Rutinerna för hantering av hästgödseln vid biogasanläggningen utformades för att minska risker för eventuell smittspridning. Detta var ett område som det lades stor vikt vid under utformningen av dessa försök. Åtgärder för att minska risken för smittspridning är en viktig aspekt att ta i beaktan när gödsel från andra gårdar skall rötas vid en gårdsbiogasanläggning. Inomgårdslogistiken skall planeras på sådant sätt att gödsel och fodervägar ej korsas. Det är även viktigt att det finns

rutiner som minskar risken att redskap och annan utrustning som används för gödselhantering kommer i kontakt med gårdens besättning. En fördel är om det redan vid planeringen och uppförandet av biogasanläggningen tagits hänsyn till dessa aspekter genom att t.ex. placera anläggningen på behörigt avstånd från djur och foderhantering. Mer information om dessa frågor finns t.ex. i Carlsson och Nordsström (2014).

Figur 5 visar en översiktsbild av hästgödselhanteringen vid Sötåsen under försöken. Till vänster syns traktorn som användes för att fylla mixerbehållaren. Mixerbehållaren syns framför traktorn. Till vänster om mixerbehållaren syns ett grönt nät som monterats för att förhindra att hästgödsel blåser iväg in till närliggande utfodringsplatser. Till höger i bilden syns blåa containrar där hästgödseln förvarades. Containrarna täcktes med nät för att förhindra eventuell smittspridning via fåglar till närliggande utfodringsplats. Placeringen av containrarna var sådan att transport av gödsel ej korsar fodervägar.



Figur 5. Översikt över hästgödselhanteringen vid Sötåsen under försöken.

5.3.3 Hantering av hästgödsel vid gårdsanläggningen

Hästgödseln fylls på i mixerbehållaren med hjälp av en traktor med lastare. Under första försöksledet då TS-halten i hästgödseln vanligtvis var 40-55 %, rymde mixerbehållaren ungefär 3 ton. Under andra försöksledet då TS-halten var ungefär 30-50 %, rymde mixerbehållaren ungefär 5,2 ton, men med en period på en månad då det lastades upp mot 6,4 ton i snitt. Det var dock svårt att tömma mixerbehållaren helt via automatik p.g.a. att det fanns ytor där det kunde bli gödsel liggandes. Därför var den effektiva volymen ungefär 1 ton mindre än vad behållaren rymde totalt.

Att fylla mixern tog under försöken ungefär 1 h/gång. När Sötåsen istället rötar sin egen fastgödsel tar det ungefär 15 minuter/gång att fylla mixern. Skillnaden bedöms främst vara kopplad till att gödseln förvarades i containrar och att gödsel togs direkt från containrarna med en traktor. Det gjorde att det blev krångligare samt att en mindre skopa användes än normalt. Även hanteringen av näten som täckte containrarna tog extra tid.

5.3.4 Konvertering av hästgödsel till en pumpbar slurry

Hästgödseln konverterades till en pumpbar slurry innan rötning. Hästgödseln innehöll en del grus och andra föroreningar som sedimenterade i brunnen där konverteringen genomfördes. Mellan respektive försöksled tömdes därför pumpbrunnen på bottensediment, vilket tog ungefär 5 mantimmar. I detta projekt

användes en spolbil i kombination med manuellt arbete för att avlägsna botten-sedimenten. Mängden sediment bedömdes motsvara ungefär 0,7-1 % av tillförd mängd hästgödsel på våtviktsbasis. Mängden grus som fanns i hästgödseln var troligen större. Denna bedömning bygger på att omrörningssystemet i pumpbrunnen var kraftigt, vilket gjorde att när brunnen började bli full följde de mindre partiklarna med in i pumpen. Det gick vid dessa pumpningstillfällen att lyssna på ledningarna och höra hur grus och sten slog mot rörkrökar. Därför bedöms det att mängden sediment som sedimenterade i brunnen bara utgjorde en del av den totala mängden grus som hästgödseln innehöll. Figur 6 visar före och efter att bottensedimenten har avlägsnats.



Figur 6. Bild från pumpbrunnen som användes för att konvertera hästgödseln till en pumbar slurry före och efter att bottensediment avlägsnats.

Figur 7 visar bottensediment som avlägsnats från pumpbrunnen vid slutet av försöksled 1. Förutom sedimenten som hittades kom det även ibland med större föremål som t.ex. större bitar plast (typ ensilageplast) som troligtvis kommit med när containrarna fylldes med lastmaskin. Dessa föremål avskildes manuellt vid lastning av mixerbehållaren.



Figur 7. Till vänster grus som sedimenterat under försöksled 1 och till höger större föremål som hittades tillsammans med sedimenten.

Elförbrukningen för konverteringsutrustningen var under försöksled 1 ungefär 20 kWh/ton hästgödsel. Den minskade sedan under försöksled 2 till ungefär 12 kWh/ton hästgödsel. Om hänsyn tas till TS-halten i hästgödseln blir skillnaden något mindre mellan försöksleden. Normaliserad elförbrukningen mot TS-halten blir förbrukningen ungefär 42 kWh/ton TS under försöksled 1 och 34 kWh/ton TS under försöksled 2. Med en metanproduktion på 100 Nm³/ton VS och en VS-halt på ungefär 87 % produceras 867 kWh biogas/ton TS. Elförbrukningen för att kon-

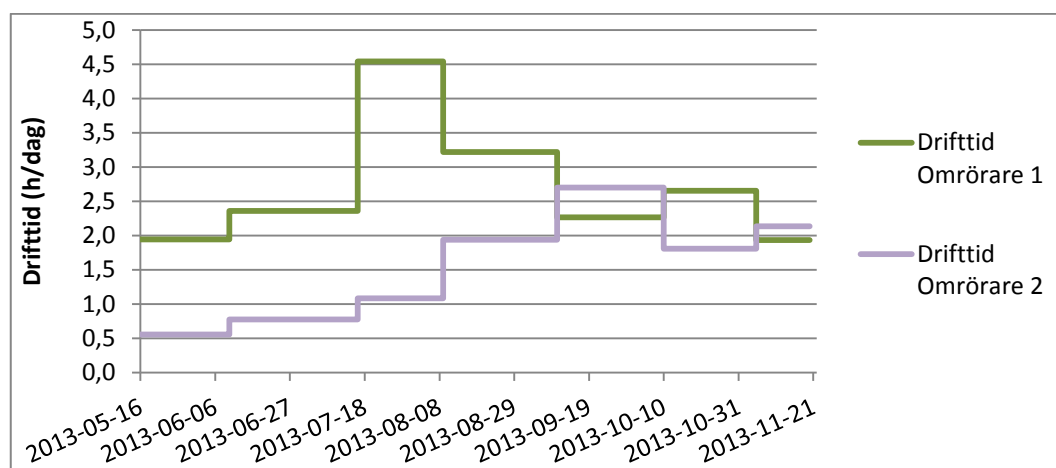
vertera hästgödsel, där spån har använts som strömedel, till en pumpbar slurry blev 0,04 - 0,05 kWh el/kWh utvunnen biogas från hästgödseln.

Det är flera faktorer som påverkar elförbrukningen. Störst inverkan bedömdes gångtiden för den skärade pumpen ha. Vilken gångtid denna hade berodde främst på hur lätt gödseln blandades upp med rötresten. Detta påverkas i sin tur av vilken TS-halt som rötresten och hästgödseln har samt blandningsförhållandena dem i emellan.

5.3.5 Omrörning av rötkammare

Figur 8 visar drifttiderna för de sidomonterade toppomrörarna i respektive rötkammare under försöken. Första två månaderna ökades drifttiden för huvudrötkammaren succesivt för att sedan under juli månad öka drastiskt. Detta berodde till stor del på problem med återkommande igensättning i breddningen mellan huvud- och efterrötkammaren. I början avhjälptes detta genom att öka drifttiden för omröraren vid dessa tillfällen under ungefär en dag. Efter att breddningen slutligen spolats med hjälp av en spolbil minskade igensättningsproblematiken, vilket drastiskt reducerade drifttiden för omröraren i huvudrötkammaren.

Under augusti månad uppstod svämtäcke i efterrötkammaren vid ett par tillfällen, vilket bröts genom att tillfälligt öka gångtiden för omröraren. I mitten av september upptäcktes att ett svämtäcke återigen bildats i efterrötkammaren samt ett mindre i huvudrötkammaren. Svämtäcket i efterrötkammaren hade dock hunnit bli så tjockt att det inte gick att bryta med omröraren. Därför tillsattes ca 30 m³ urin till huvudrötkammaren den 19/9, för att späda efterrötkammaren och bryta svämtäcket. Svämtäcksproblemen inträffade i samband med skörd och skolstart, vilket betydde att övervakningen av biogasanläggningen var lägre än vanligt under denna period. Om inte ett begynnande svämtäcke upptäcks i tid, växer detta till sig snabbt.



Figur 8. Drifttider för toppomrörarna i huvud- (omrörare 1) och efterrötkammaren (omrörare 2).

Elförbrukningen vid anläggningen består dels av en konstant förbrukning på ungefär 2,5–4,5 kW där ungefär 1,7 kW utgörs av bottenomröraren i RK1, som drivs vid låg fart. Därutöver drar respektive toppomrörare ungefär 11–12 kW när dessa är i drift. Vanligtvis körs även bottenomröraren på hög fart när toppomröraren i RK1 är i drift, vilket ökar förbrukningen med ytterligare 1,7 kW. Medelförbrukningen under hela försöksledet var ungefär 126 kWh/dag. En ungefärlig

fördelning av denna förbrukning är fastgödselhantering 20 kWh/dag, bottenomröraren i RK1 46 kWh/dag, toppomröraren RK1 34 kWh/dag, toppomröraren RK2 19 kWh/dag samt övrig bakgrundsförbrukning ca 7 kWh/dag.

6 Tolkning av resultat och underlag till ekonomiska kalkyler

Detta kapitel tolkar resultaten från genomförda försök och ligger till grund för nästa kapitel där en ekonomisk analys av en fullskaleanläggning som rötar hästgödsel utförs.

6.1 Biogasproduktion

Detta stycke utvärderar vilken biogasproduktion som är realistisk vid kontinuerlig drift under en flerårsperiod. Vidare görs en bedömning av vilka mängder näringsämnen som kommer att tillföras gården samt hur stor del av gödselblandningens totala biogaspotential som utvinns.

6.1.1 Andel av gödselblandningens gaspotential som utvinns

Ett av målen med detta projekt var att bedöma hur stor andel av gödselblandningens totala gaspotential som utvinns vid våtrötning. Detta har beräknats via en massbalanskalkyl för FL1.

Massbalansberäkningen ger att om 1 ton gödselblandning som innehåller 170 kg torrsubstans och 147 kg VS rötas så produceras:

- 43 kg biogas
- 957 kg rötrest
- kvarvarande torrsubstansmängd i rötresten är 127 kg
- kvarvarande VS-mängd i rötresten är 104 kg

Metanproduktionen under försöksled 1 var ungefär 18,4 m³/ton gödselblandning. Tabell 5 visar en bedömning av ungefärlig mängd metan som skulle gå att utvinna med ytterligare efterrötning vid 37 °C baserat på Figur 4. Vid en förlängning av uppehållstiden med 20 dagar kan metanproduktionen ökas med ca 4,2 m³CH₄/ton gödselblandning, dvs. 23 % ökad metanproduktion. Skulle uppehållstiden däremot förlängas med 90 dagar kan metanproduktionen ökas med ca 10 m³CH₄/ton gödselblandning, dvs. 56 % ökad metanproduktion. Utgående från dessa beräkningar är bedömningen att det vid försöksrötningen vid Sötåsen utvanns ca 65 % av gödselblandningens totala metanbildningspotential. Observera dock att uppehållstiden för genomförda försök vid Sötåsen under sommaren 2013 var uppemot 50 dagar för respektive rötkammare. Detta betyder att den totala uppehållstiden är uppemot 100 dagar och för att utvinna resterande 35 % skulle det behövas en dubbling av denna uppehållstid.

Producerad metan från gödselblandningen som rötades under FL1 motsvarade ett metanutbyte på 125 m³/ton VS. Edström m.fl. (2013) anger att ca 200 m³ metan/kg VS erhålls vid 40 dagars satsvis utrötning av den flytgödsel som rötas vid Sötåsen. Med ett antagande att denna metanproduktion också kan nås för en kontinuerlig process med 50 dagars uppehållstid i RK1 (och lika lång tid i RK2),

har hästgödseln bidragit till metanproduktionen med 94 m³/ton VS. Detta beräknade metanutbyte för hästgödseln under FL1 var i princip den metanproduktion som uppnåddes vid 57 dagars satsvis utrötning av hästgödsel då kutterspån eller träpellets har använts som strö (se Figur 2).

Tabell 5. Bedömning av ungefärlig mängd metan som skulle gå att utvinna med ytterligare efterrötning vid 37 °C.

Uppehållstid Dagar	Metanutbyte m ³ /ton VS	Ytterligare metanproduktion	
		m ³ /ton gödselblandning	% av ursprunglig
20	40	4,2	23
40	60	6,3	34
90	95	9,9	54

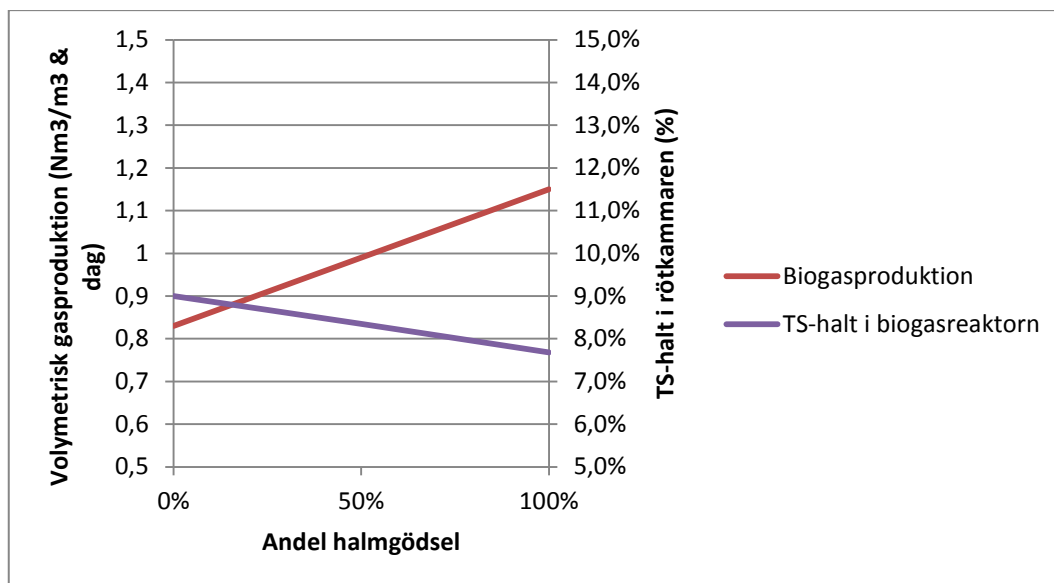
6.1.2 Gödselmängder vid normaldrift

Hur mycket hästgödsel som går att tillsätta rötkammaren beror dels på tekniska begränsningar, dels på biologiska begränsningar. De tekniska begränsningarna relaterar till möjligheten att hålla rötkammaren totalomblandad för att undvika att svämtäcke bildas. Detta påverkas av rötkammarinnehållets fysiska egenskaper samt hur omrörarsystemet vid den enskilda anläggningen är dimensionerat. Viskositeten på materialet, som i sin tur påverkas av bland annat TS-halten, är en viktig egenskap vid dimensionering av omrörarsystem för rötkammare. Andra faktorer som påverkar är sönderdelningsgraden av materialet i rötkammaren. Förutom problem med svämtäcke kan höga TS-halter och dåligt sönderdelat material förorsaka t.ex. igensättning i breddavlopp och andra installationer.

TS-halten i rötkammaren beror dels på vilken utröttningsgrad som uppnås samt vilken TS-halt ingående gödselblandning har. I denna studie antas att omrörningsutrustningen i rötkammaren klarar av en TS-halt inne i rötkammaren på upp till 9 %, förutsatt att gödseln består av finfördelat strömedel som t.ex. halmpellets eller sågspån. Under försöken nåddes som högst en TS-halt på ca 7,5–8,5 % i huvudrötkammaren.

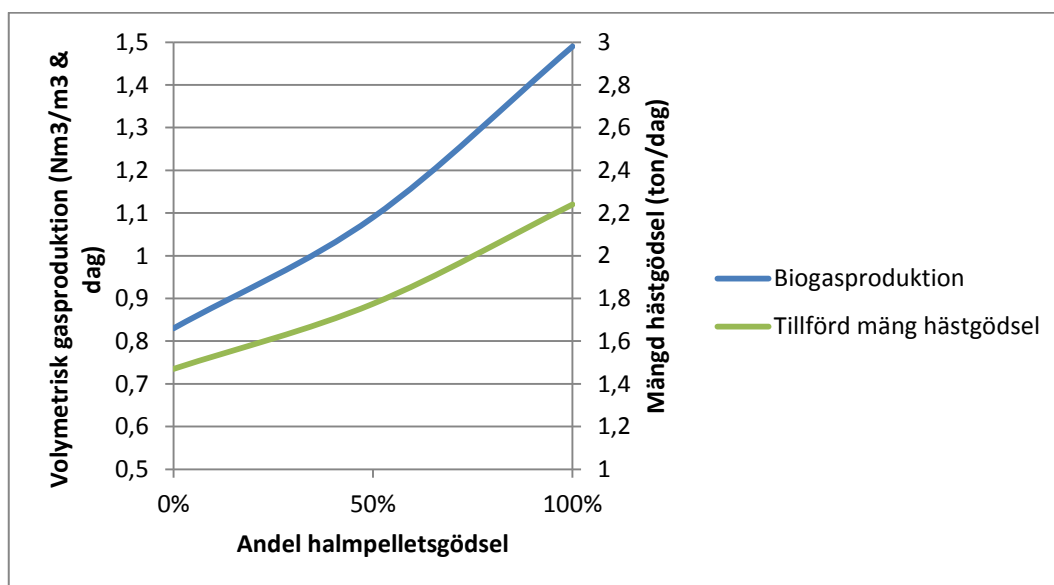
Utifrån antagandet att TS-halten är begränsande för hur mycket hästgödsel som går att röta i anläggningen, har beräkningar gjorts för olika typer av hästgödsel. Beräkningarna har baserats på förhållandena vid Sötåsen. Flytgödselproduktionen antas vara 2 300 ton/år med en TS-halt på 6,9 % och en VS-halt på 83 %. Metanutbytet för nötflytgödseln har antagits vara 200 Nm³/ton VS. Hästgödseln som rötas antas ha en TS-halt på 35 % och en VS-halt på 90 %. Metanutbytet för spån- och torvhästgödsel har antagits vara 100 Nm³/ton VS och för halmhästgödsel 200 Nm³/ton VS. Metanhalten i biogasen har antagits vara 55 %. TS-halten i rötkammaren har räknats fram baserat på en massbalans där mängden TS i substratet minskas med den massa som förs bort med producerad biogas.

Figur 9 visar biogasproduktion och TS-halt i rötkammaren beräknat för Sötåsens förhållanden då det rötas 1,47 ton hästgödsel per dag. Figuren visar hur gasproduktionen varierar beroende på vilket strömedel som används. På x-axeln redovisas hur stor andel av hästgödseln som utgörs av halmhästgödsel, resterande mängd antas utgöras av en blandning av spån- och torvgödsel.



Figur 9. Förväntad TS-halt i röt-kammaren samt biogasproduktion vid rötning av 1,47 ton hästgödsel per dag.

Med en högre andel halmgödsel stiger gasproduktionen vilket även ökar utrötningsgraden. Detta påverkar i sin tur TS-halten i röt-kammaren, vilket illustreras med en kurva i Figur 9 som visar teoretiskt framräknad TS-halt i röt-kammaren. När det är torv- eller spån-hästgödsel som rötas beräknas TS-halten i röt-kammaren stanna runt 9 %. Detta skall jämföras med en ren halmgödsel där den ökade nedbrytningsgraden pressar ner TS-halten till ungefär 7,5-8 % TS. Om det är vanlig halm som använts som strö, kan det vara motiverat med en lägre TS-halt i röt-kammaren för att säkerställa en god omblandning. Om det däremot är halmpellets eller finfördelad halm som används som strö, kan det vara motiverat att istället öka mängden hästgödsel så att TS-halten i röt-kammaren bibehålls vid ca 9 % TS. Figur 10 visar ett sådant scenario.



Figur 10. Mängd tillförd hästgödsel samt förväntad biogasproduktion när hästgödsel-tillförseln anpassas för en TS-halt på 9 % i röt-kammaren.

Figur 10 visar hur mycket hästgödsel en biogasanläggning med samma förhållanden som Sötåsens kan tillföras utan att TS-halten i röt-kammaren överskrider 9 %. Det visar att med en ökad andel finfördelad halmhästgödsel på bekostnad av torv- och spångödsel går det att tillföra mer gödsel och ändå bibehålla en TS-halt på 9 %. Detta gör att biogasproduktionen både ökar p.g.a. att halmgödseln ger mer gas per ton tillförd gödsel och p.g.a. att det tillförs mer gödsel.

Utifrån Figur 9 och 10 har tre olika scenarier för den ekonomiska utvärderingen identifierats:

- Scenario 1 är rötning av halmpelletshästgödsel där TS-halten i röt-kammaren är 9 %.
- Scenario 2 utgörs av rötning av en blandning av spån- och torvhästgödsel med en TS-halt i röt-kammaren på 9 %.
- Scenario 3 utgörs av rötning av halmhästgödsel där halmen ej är finfördelad. Eftersom halmen inte är finfördelad hålls TS-halten i detta fall vid 7,5-8 % i röt-kammaren.

Tabell 6 redovisar dessa tre scenarier samt ett grundscenario (scenario 0) där endast flytgödsel rötas. I båda fallen där halm används som strömedel nås en biogasproduktion från hästgödseln som motsvarar mer än 50 % av den totala biogasproduktionen.

Tabell 6. De tre scenarior som den ekonomiska utvärderingen av försöken baseras på.

Scenario	Mängd gödsel (ton/dag)			Biogasproduktion	
	Spån/torv-hästgödsel	Halm eller halmpellets-hästgödsel	Nötflyt-gödsel	Total mängd (Nm ³ /dag)	Andel från hästgödsel
0	0	0	6,3	131	0 %
1	0	2,24	6,3	388	66 %
2	1,47	0	6,3	215	39 %
3	0	1,47	6,3	300	56 %

Om vi antar att en häst producerar ungefär 7,5 ton hästgödsel/år skulle det betyda att det går att röta hästgödsel från ungefär 70-100 hästar vid Sötåsen. Dock skall påpekas att mängden gödsel en häst producerar på ett år, och som blir tillgänglig för biogasproduktion, varierar. Det beror dels på hur stor hästen är, dels på om den går på bete under sommaren eller om den står i stall större delen av sommaren.

6.1.3 Växtnäringstillförsel och avsättning

Tabell 7 baseras på växtnäringssammansättningen angiven i Tabell 2. Andelen ammonium av total mängd kväve har antagits vara 50 % efter rötning. Detta är baserat på de prover som togs på röt-kammarinnehåll från röt-kamrarna i slutet av försöksled 2 där andelen var strax över 50 %. Detta antagande gäller för de förhållanden som gällde under försöken på Sötåsen där det endast rötades spånhästgödsel. Men i ekonomiberäkningarna används detta värde även för halmhästgödsel och torvhästgödsel.

Tabell 7 visar hur tillförseln av hästgödsel till biogasprocessen höjer koncentrationen av näringsämnen i gödseln. En förhöjd koncentration gör att mer näringsämnen följer med per transport och därmed utgör en möjlighet att minska transportkostnaden per hektar gödslad mark. Samtidigt stiger även TS-halten och viskositeten i rötresten till följd av tillförseln av hästgödsel. Dock tyder viskositetsanalyserna i Bilaga 1 på att innehållet i RK1 och RK2 ändå hade lägre viskositet än den flytgödsel som analyserades. Även de prover som tagits från brunnen där hästgödsel och rötkammarinnehåll blandas, indikerar att viskositeten är lika eller lägre för substratblandningen vid en TS-halt på drygt 9 % jämfört med den orötade flytgödseln. Viskositeten bedöms därför inte utgöra ett hinder vid spridning.

Att samröta hästgödseln med flytgödsel betyder även att hästgödseln blir konverterad till flytande gödsel. Flytande gödsel är ett bättre precisionsgödselmedel som är lättare att dosera och går att sprida i växande gröda (Malgeryd m.fl., 2002).

Tabell 7. Beräknat växtnäringsinnehåll i rötresten efter att processen nått jämvikt samt total mängd växtnäring per år som passerar rötkammaren.

Scenario	Total-N*		Ammonium* [†]		P		K	
	kg/ton	ton/år	kg/ton	ton/år	kg/ton	ton/år	kg/ton	ton/år
0	2,8	6,3	1,4	3,2	0,46	1,0	3,0	6,6
1	4,0	12	2,0	5,8	0,71	2,1	4,1	12
2	3,7	10	1,8	5,0	0,47	1,3	3,3	9,1
3	3,7	10	1,8	4,9	0,64	1,7	3,8	10

* OBS dessa värden tar ej hänsyn till eventuella ammoniakförluster via biogasen

[†] Baserat på antagandet att 50 % av totalkvävet utgörs av ammoniumkväve efter rötning

Tabell 7 visar även hur den totala mängden växtnäring som tillförs gården varierar mellan scenariorna. Totala mängden växtnäring är beroende av inblandningsgraden av hästgödsel och valet av strömedel. Tillförsel av hästgödsel från andra gårdar enligt scenario 2 bedöms öka mängden kväve som skall spridas med ca 60 % jämfört med om gården endast rötade sin egen flytgödsel. Fosformängden ökar med ca 25 % och kalium ökar med nästan 40 %. Scenario 1 ökar mängden kväve och kalium med ca 80 % och mängden fosfor ökar med uppemot 100 %.

Beroende på den enskilda gårdens förutsättningar kan den tillförda växtnäringsningen utgöra ett kvittblivningsproblem eller en möjlighet. Växtningen som tillförs via hästgödseln kan utgöra en möjlighet att t.ex. fasa ut konstgödsel, utöka arealen eller effektivisera den ekologiska odlingen genom att höja skörden.

I ekonomiberäkningarna hanteras detta genom att tillförd växtnäring värderas enligt Greppa Näringsens värderingsmodell. Gödseln värderas då utifrån gödselverkan och priset på konstgödsel samt spridningskostnader.

6.2 Tekniska lösningar

6.2.1 Transport, lagring och arbetsbehov

Under försöken lagrades hästgödseln vid biogasanläggningen i containrar. För den ekonomiska utvärderingen antas att hästgödseln vid biogasanläggningen lagras på gödselplatta. Detta minskar lagringskostnaden samt arbetstiden för lastning av mixerbehållaren eftersom större skopa kan användas och det är enklare att köra på

plattan. Vid hästgårdarna lagrades gödseln dels på platta, dels direkt i container. Hyra av container eller kostnaden för en platta vid gården är inte inkluderad i den ekonomiska utvärderingen i detta projekt. Dock antas att gården kan lagra gödsel motsvarande ca 30-35 ton, vilket är den mängd som ryms i tre containrar. Detta möjliggör transport med en lastbil med släp vilket minskar transportkostnaden.

Transportavståndet under försöksled 1 var ungefär 60-70 km enkel resa beroende på val av transportväg. Kostnaden var ungefär 3 300 kr/transport för en lastbil med släp. I detta ingick hämtning av tomma containrar från Sötåsen och transport till stallet. Vid stallet lastades containrarna och fraktades därefter åter till Sötåsen. Kostnaden för lastmaskin vid stallet är inte inkluderad i denna kostnad. Transportavståndet i andra försöksledet var ungefär 95 km och där var kostnaden ungefär 4 800 kr/transport. Även här rörde det sig om tur och returtransport samt lastning av containrar vid gården där lastmaskinen ej var inkluderad. Inför projektet kontaktades ett antal transportörer med prisförfrågan för att transportera gödsel. Resultatet blev ca 800-950 kr/h för lastbil med släp som kan transportera tre containrar. Men vid längre transporter ville de flesta ha möjlighet att återkomma med ett milpris istället. Utifrån detta antas i denna rapport att transportkostnaden med bil och släp är ca 1,5 kr/ton, km (tur och retur) samt ca 19 kr/ton som utgörs av den tid det tog att lasta containrarna vid stallet samt framkörning av lastbilen. 1,5 kr/ton, km motsvarar 900 kr/h vid en genomsnittlig hastighet på 40 km/h och en last på 32 ton. 19 kr/ton motsvarar ca 40 minuter, vilket skall täcka stillestånd vid lastning samt framkörning.

6.2.2 Elförbrukning

Elanvändningen för att konvertera hästgödsel till en pumpbar slurry och pumpa in slurryn i rötkammaren har under försöken varit ungefär 10-20 kWh/ton hästgödsel (se kapitel 5.3.4 Konvertering av hästgödsel till en pumpbar slurry). Ungefär 3 kWh/ton härrör från mixerbehållarens arbete. Utifrån sönderdelningsperspektiv bedöms att hästgödsel med finfördelade strömedel som t.ex. halmpellets, spån och torv troligvis inte behöver en ytterligare sönderdelning. Därför har det i ekonomiberäkningarna antagits en energiförbrukning på 4,5 kWh/ton för scenario 1 och 2 och en energiförbrukning på 15 kWh/ton för scenario 3. Därmed antas att det i scenario 3 används betydande mängder halm som strö och att denna gödsel sönderdelas med en skärande pump. Elanvändningen för att driva röttningsprocessen för en anläggning av Sötåsens storlek har i scenario 1-3 antagits vara 128 kWh/dag, baserat på driftdata från försöken. Detta elbehov för driften av rötkammaren antas bestå av ungefär 46 kWh/dag för drift av bottenomröraren i RK1, 60-75 kWh/dag för drift av båda toppomrörarna samt 20 kWh/dag för övriga förbrukare. Tabell 8 redovisar den antagna elförbrukningen som ligger till grund för ekonomiberäkningarna för respektive scenario.

Tabell 8. Antagen elanvändning för respektive scenario för en gård av Sötåsens storlek.

Scenario	Konvertering av hästgödsel till pumpbar slurry	Drift av biogasanläggning
0	0	110 kWh/dag
1	10 kWh/dag	128 kWh/dag
2	7 kWh/dag	128 kWh/dag
3	22 kWh/dag	128 kWh/dag

En större anläggning (4 gånger större än Sötåsen) antas ha, utöver fastgödselbehandling och hygienisering, en elförbrukning på ungefär 9 W/m³ reaktorvolym. Detta täcker främst omrörare i rötammaren, men skall även täcka behov för flytgödselpumpar m.m. Nordberg m.fl. (1997) och Nordberg och Edström (1997) anger utifrån dimensionerande beräkningar från en omrörartillverkare en förbrukning mellan 5 och 10 W/m³ för rötammare med en storlek på 1 500 m³ och en högre viskositet jämfört med dessa försök. Samtidigt var elbehovet vid Sötåsen under försöken ungefär 12,8 W/m³ för att driva omrörningen av huvudrötammaren.

6.2.3 Uppvärmning och hygienisering

Samrötning av gödsel från flera gårdar kräver vanligtvis någon form av hygienisering. Den vanligaste metoden idag är pastörisering vid 70 °C i en timme. Andra metoder som nämns som möjliga är t.ex. termofil rötning vid 52 °C istället för mesofil rötning vid 37 °C. Detta förutsätter en garanterad uppehållstid på 10 h och en hydraulisk uppehållstid på minst 7 dygn (Jordbruksverket 2011 b).

Antalet anläggningar på gårdsnivå som är utrustade med pastöriseringskapacitet är i dagsläget få. Av dessa är det inga som både pastöriserar hela substratflödet och har den höga andel fastgödsel som avhandlas i denna rapport.

Problematiken med att pastörisera gödselblandningar med hög andel fastgödsel relaterar till att blandningarna får en hög TS-halt. Den höga TS-halten gör att det blir svårt att återvinna värmen som tillförs vid pastöriseringen. Blandningarna i scenario 1-3 får en TS-halt på drygt 12-14 %.

Vanligtvis återvinns värme i två steg vid storskalig pastörisering genom att först värmeväxla ingående substrat mot rötresten som lämnar rötammaren. Därefter värmeväxlas substratet mot det pastöriserade substratet (se t.ex. Norin, 2007). Men med TS-halter på 12 % och högre blir det svårt att genomföra värmeåtervinning från det pastöriserade substratet genom konventionell värmeväxling. Om inte substratet kan kylas innan det pumpas in i rötammaren minskar möjligheten till värmeåtervinning. Bilaga 3 presenterar förslag på alternativa processlösningar för vilka det genomförts enklare värmebalanser. Tabell 9 visar en bedömning, utifrån Bilaga 3, av värmebehovet för en stor samt en liten gårdsanläggning som rötar den substratblandning som är aktuell i scenario 1-3.

Tabell 9. Antagna värmebehov för olika processkonfigurationer baserat på Bilaga 3.

	Sötåsen	4 gånger Sötåsens storlek
Mesofil process utan pastörisering	50 kWh/ton substrat	40 kWh/ton
Mesofil process med pastörisering	---	60 kWh/ton substrat
Termofil process utan värmeåtervinning	70 kWh/ton substrat	60 kWh/ton substrat
Termofil process med värmeåtervinning	---	40 kWh/ton substrat

7 Ekonomisk utvärdering för samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel på gårdsnivå

7.1 Förutsättningar

Den ekonomiska utvärderingen baseras på Scenario 1-3. För att förenkla beräkningarna har transportkostnaderna behandlats separat, vilket betyder att de behandlingsavgifter som redovisas i de enskilda kalkylerna gäller exklusive transport. Med behandlingsavgift menas en avgift som betalas av hästägaren till anläggningen för att denna tar hand om gödseln. Som det beskrivits i metoddelen kan behandlingsavgiften i denna rapport även vara negativ, vilket betyder att intäkterna från rötning av hästgödseln överskrider kostnaderna för att röta den. Transportkostnaderna beror främst på transportavståndet och vilken TS-halt materialet har.

För att beräkna en tekniskt motiverad behandlingsavgift samt för att ge en förståelse för vilka faktorer som påverkar lönsamheten, har två olika typer av kalkyler genomförts. Den första kalkylen utgörs av en lönsamhetskalkyl med grund i dagens förhållanden vid Sötsåen. Den andra kalkylen är en investeringskalkyl baserad på en fiktiv anläggning fyra gånger Sötsåsens storlek.

I lönsamhetskalkylen har endast lönsamhetsförändringar tagits i beaktan och belyser en ögonblicksbild. Beräkningarna tar endast hänsyn till kostnader direkt relaterat till hantering av hästgödsel, och exkluderar tidigare investeringar som t.ex. rötkammaren och kraftvärmeenheter. Därför visar lönsamhetskalkylen endast hur rötning av olika typer av hästgödsel samt olika krav på förbehandling av gödseln påverkar ekonomin för en befintlig gårdsanläggning. Ögonblicksbilden visar vid vilken behandlingsavgift som anläggningen uppnår en oförändrad lönsamhet. Detta betyder att behandlingsavgifter framräknade med lönsamhetskalkylen bör ses som ett tekniskt golvvärde och inte som en skälig avgift.

Investeringskalkylen har tagit alla kostnader i beaktande och syftar till att belysa hur den totala lönsamheten ser ut vid nyetablering av en anläggning som skall samröta hästgödsel med flytgödsel. Bilaga 4 redovisar förutsättningarna för både lönsamhetskalkylen och investeringskalkylen.

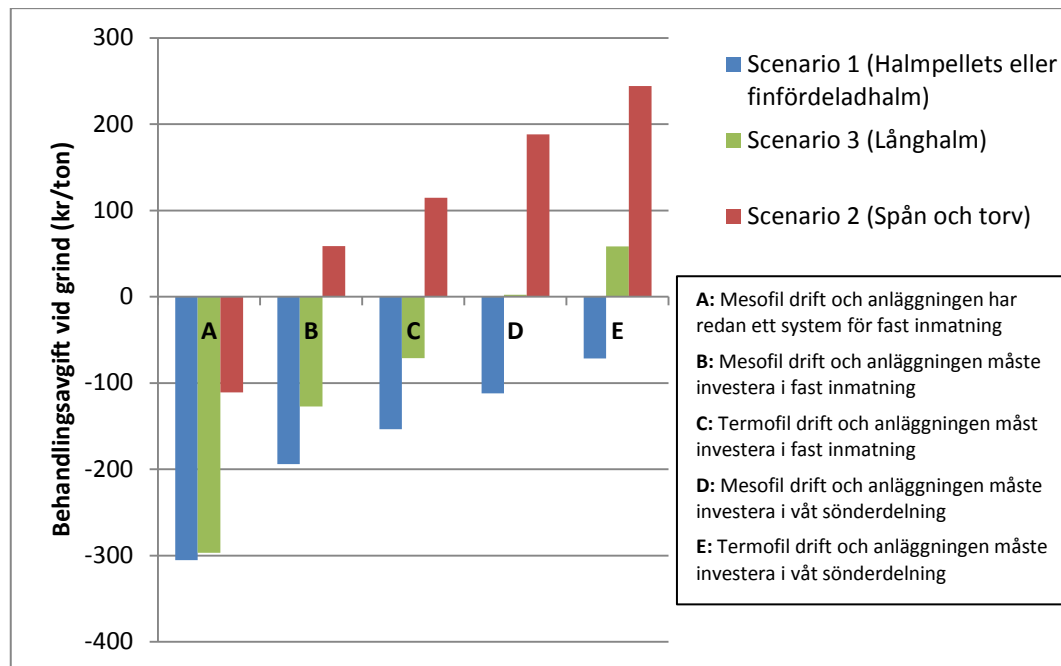
Gemensamt för både lönsamhets- och investeringskalkylerna är att el avsåts till ett pris av 52 öre/kWh samt att elcertifikat genererar en intäkt på 150 kr/st. Värme avsåts till ett pris av 53 öre/kWh. All tillförd gödsel antas gå att värdera enligt Greppa näringens principer, och får ett värde motsvarande konstgödselpriset minus hanteringskostnader plus effekter på bördighet.

7.2 Lönsamhetskalkyl

Bilaga 4 redovisar antagna kostnader och intäktsnivåer för lönsamhetskalkylen. De tekniska antagandena grundar sig främst på erfarenheter redovisade i tidigare kapitel i denna rapport. I denna kalkyl har inga kostnader tagits med för förädling av gasen till värme och el, utan det har antagits att detta kan genomföras med befintlig utrustning med redan existerande underhållsbehov. Detta antagande gör att redovisade behandlingsavgifter troligen är något underskattade.

Lönsamhetskalkylen belyser främst viktiga aspekter som påverkar lönsamheten vid rötning av hästgödsel. Dessa aspekter är hygieniseringskostnaden, behovet av förbehandling, biogasutbytet från de olika gödselslagen samt hur stor mängd gödsel som går att tillföra reaktorn.

Figur 11 visar vilken behandlingsavgift vid grind som en befintlig gårdsanläggning med Sötåsens förutsättningar behöver ta ut för att uppnå oförändrad lönsamhet vid rötning av hästgödsel. Figur 11 visar hur lönsamheten delvis beror på vilka behov av förbehandling och hygienisering (genom termofil drift) anläggningen har. Vidare belyser figuren hur lönsamheten beror på vilket strömedel som används. Spån och torv kräver högst behandlingsavgift för att anläggningen inte skall förlora på att röta hästgödseln. Detta beror främst på det dåliga gasutbytet från dessa strömedel. Fallen med långhalm visar hur ett ökat gasutbyte förbättrar totalekonomin. Rötning av hästgödsel strödd med långhalm kan i sin tur jämföras med fallen med halmpellets gödsel. Där nyttjas den höga nedbrytningsgraden för att röta ytterligare mängder gödsel, vilket ytterligare ökar den totala biogasproduktionen.



Figur 11. Behandlingsavgift som en gårdsanläggning behöver ta ut för att nå oförändrad lönsamhet vid rötning av hästgödsel.

Staplarna längst till vänster i Figur 11 motsvarar ett fall då det redan finns en utrustning för fast inmatning av substrat vid anläggningen, men som ej utnyttjas till fullo. I det fallet finns ingen kapitalkostnad för fast inmatning inräknat, vilket gör att lönsamheten blir ungefär densamma för långhalm och halmpellets. Kapitalkostnaden för en fast inmatning bedöms vara ungefär 111-170 kr/ton beroende på om anläggningen beskickar 2,24 eller 1,47 ton/dag. Effekten av detta syns i nästa stapelgrupp där gödseln får bära kapitalkostnaden för fast inmatning. Genast blir det en större skillnad mellan långhalm och halmpellets eftersom kapitalkostnaderna kan slå ut på fler ton gödsel i fallet med halmpellets.

Kapitalkostnaden för våt sönderdelning har uppskattats till ungefär 64-97 kr/ton beroende på om kapitalkostnaden kan slås ut på 2,24 eller 1,47 ton/dag. I Figur 11 är denna kostnad kombinerad med en rivare som doserar gödseln till den våta sönderdelningen.

Hygienisering har i lönsamhetsberäkningarna antagits gå att genomföra genom termofil (55 °C) drift utan några större tekniska modifieringar av systemet. Detta förutsätter att anläggningen har ett uppvärmningssystem som kan värma rötkammaren till termofila förhållanden. Tekniskt krävs det att rökammarens beskickingssystem kan garantera en uppehållstid på 10 h från det att substrat tillförts. Vid Sötåsen skulle detta kunna uppnås genom att en ventil monteras vid breddningen mellan huvud- och efterrötkammaren. Denna ventil styrs sedan genom att den stängs innan beskicking sker, och öppnas sedan först efter att 10 h passerat.

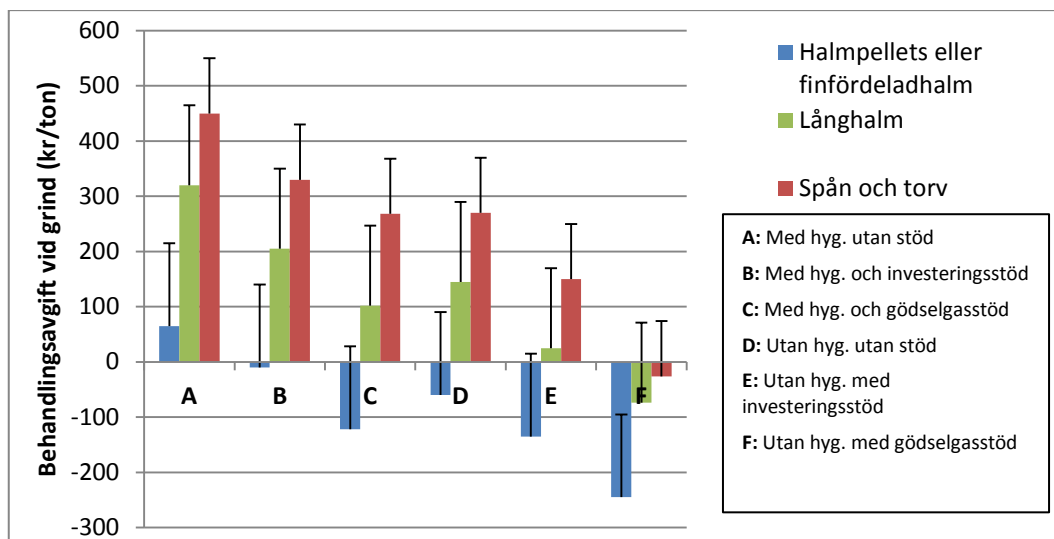
Termofil drift ökar kostnaden per ton gödsel p.g.a. ökat värmebehov och även denna kostnad beror på inblandningsgraden. Detta p.g.a. att även flytgödseln behöver höjas i temperatur, vilket betyder att mer fastgödsel gör att kostnaden för att ytterligare värma flytgödseln kan slås ut på fler ton. Det ger en kostnad på ca 67-83 kr/ton för ökat värmebehov. Om rökammaren drivs vid mesofil drift (37 °C) är kostnadsökningen för uppvärmning endast 27 kr/ton, vilket motsvarar energibehovet för att värma hästgödseln till 37 °C.

Grus och sten i hästgödseln är ett problem som inte fullt ut har hanterats. Antingen kan den sedimenteras ut i samband med våt sönderdelning eller så får rökammaren tömmas med jämna mellanrum. Hur stor andel grus och sten som gödseln innehåller är oklart eftersom resultaten i projektet endast ger en indikation på mängden. En uppskattning av kostnaden för att avlägsna detta grus när det upptar ca 10 % av rökammarvolymen har dock gjorts. Resultatet är att kostnaden är i storleksordningen 10-20 kr/ton rötd hästgödsel, baserat på att 1-2 % av hästgödseln består av grus och att sedimenten har en densitet på 3 ton/m³. Samt att arbetstid, maskiner och förlorad gasproduktion under tömning samt återstart av processen värderas till ungefär 85 000 kr i dagens penningvärde. Är andelen grus i gödseln högre, stiger även denna kostnad.

7.3 Investeringskalkyl

Bilaga 4 redovisar förutsättningarna för investeringskalkylerna som denna sektion bygger på. Figur 12 visar resultatet av investeringskalkylerna gjorda för en gård fyra gånger större än Sötåsen. Beräkningarna utgår dels från de schablonvärden som finns i Hushållningssällskapetets kalkylmall, dels från faktiska data från genomförda försök vid Sötåsen. Det ingår ett fall där det antagits att det utgår ett gödselgasstöd på 20 öre/kWh för de första 2 600 MWh som producerats från gödsel varje år. I beräkningen ingår även två fall med ett investeringsstöd enligt de regler som gällde under år 2012 från Länsstyrelsen. Behandlingsavgiften avser vilken avgift anläggningen måste ta ut vid grinden och exkluderar därför transportkostnaderna.

Liksom för lönsamhetskalkylen antas det i investeringskalkylen att det finns full avsättning för el, värme och växtnäringssämnen. Kalkylen utgår också från antagandet om 2 % inflation och en prisökning på energi däröver om 2 %.



Figur 12. Behandlingsavgift som krävs för att respektive scenario skall löna sig under olika förutsättningar.

I Figur 12 finns även felstaplar som belyser en enklare känslighetsanalys. Känslighetsanalysen är baserad på en sammanlagd reduktion av el-, elcertifikat- och värmepriset med 30 % samt att växtnäringen värderas till 70 % av konstgödselpriset i stället för 100 %. En intäktsminskning från el- och värmeproduktionen påverkar behandlingsavgiften olika beroende på vilket strömedel som används. Eftersom halmpellets gödsel antas ge dubbla mängden gas för varje ton gödsel som rötas jämfört med spån- och torvgödsel, ökar behandlingsavgiften för halmpellets gödsel mer än för spån- och torvgödsel när priset på värme, el och växtnäring minskar. En intäktsminskning med 30 % vid halmpellets gödselrötning innebär att anläggningen behöver höja behandlingsavgiften med ungefär 150 kr/ton. Motsvarande ökning för en anläggning som rötar hästgödsel med långhalm är ca 145 kr/ton och för en anläggning som rötar spån och torvgödsel är siffran ungefär 100 kr/ton.

Beräkningarna med investeringskalkylen visar samma tendenser som lönsamhetskalkylerna belyste. Kapitalkostnaderna slår hårdare mot långhalm, spån och torv jämfört med halmpellets samt att lönsamheten generellt beror av vilka förbehandlingsbehov som finns. I detta fall illustrerades detta genom att beräkningarna genomförts för rötning med respektive utan hygienisering i form av pastörisering. Ett investeringsstöd på 30 % påverkar lönsamheten starkt.

Den anläggning som rötar hästgödsel med finfördelad halm eller halmpellets som strömedel behöver ta ut lägst behandlingsavgift. Skillnaden mellan finfördelad halm och sågspån samt torv är upp mot 400 kr/ton för det fall anläggningen behöver hygienisera all gödsel och inget stöd utgår. Utgår ett investeringsstöd minskar kapitalkostnaden, vilket minskar skillnaden mellan gödselagen. Om anläggningen även slipper investera i pastöriseringsutrustning minskar skillnaden ytterligare. Utgår det istället ett gödselgasstöd på 20 öre/kWh för upp till 2 600 MWh/år, minskar behovet av behandlingsavgift med 180-220 kr/ton för en anläggning med hygienisering. Detta är mer än 20 öre/kWh per ton hästgödsel vilket beror på att även det stöd som härrör från nötgödsel bidrar till en ökad lönsamhet, och därmed i dessa beräkningar minskar behovet av behandlingsavgift.

7.4 Transportkostnader

I de kalkyler som genomförts ovan är det antaget att gödseln som rötas har en genomsnittlig TS-halt på 35 %. Ur transporthänseende har det tidigare i denna rapport konstaterats att det är vikten som är den begränsande faktorn för transporterna, vilket betyder att hög TS-halt är fördelaktigt ur transportsynpunkt.

Kostnadsläget som antagits i denna rapport är ungefär 1,5 kr/ton, km (tur och retur) samt ca 19 kr/ton som utgörs av den tid det tog att lasta containrarna vid stallet och framkörning av lastbilen. Denna kostnad uppnåddes vid förhållandevis långa transporter, vilket gör att kostnaderna kan bli högre vid kortare transporter och dåliga vägar. I denna rapport har inga justeringar av transportkostnaderna gjort i de fall TS-halten i transporterad gödsel avviker från 35 %.

7.5 Sammanfattning av den ekonomiska utvärderingen

Den ekonomiska utvärderingen visar att lönsamheten ökar med en högre andel halmgödsel till följd av att halmgödseln har ett högre gasutbyte jämfört med spån och torv. Antas det vidare att det går att röta en större mängd hästgödsel när halmpellets används som strö, ökar lönsamheten ytterligare. För att det skall löna sig att röta spån och torv behövs förhållandevis höga behandlingsavgifter. Skillnaden mellan spån- och halmpellets gödsel är i storleksordningen 200-300 kr/ton i lönsamhetskalkylen och 250-400 kr/ton i investeringskalkylen.

Kostnaden för hygienisering är en viktig faktor i dessa uträkningar. Endast energikostnaden i lönsamhetskalkylen motsvarar ungefär 40-60 kr/ton hästgödsel i ökad behandlingsavgift. Slutkostnaden för hygienisering genom termofil drift kan bli högre beroende på om anläggningen måste modifieras för att klara av att nå de krav som ställs. För investeringskalkylen blir kostnaderna för pastörisering ungefär 125-175 kr/ton. Dessa siffror är ungefärliga utifrån antaganden rörande investeringsnivåer och driftskostnader. Denna osäkerhet är kopplad till att blandningen som skall hygieniseras har en hög TS-halt, och idag saknas erfarenheter från anläggningar som drivs under dessa förhållanden. Därför är det svårt att bedöma investerings- och underhållskostnader.

Beräkningarna baserade på försöken visar även att kostnaderna för våt sönderdelning är betydande. Lönsamhetskalkylen indikerar kostnader på ca 80-130 kr/ton utöver utrustning för att dosera fastgödseln med (torrmixerbehållare). Ungefär 60-100 kr/ton utgörs av kapitalkostnader och resterande kostnad utgörs av tillsyn och underhåll. Även här finns det en osäkerhet kopplad till låg mognadsgrad i tekniken, vilket skulle kunna innebära att kostnaden antingen är över- eller underskattad.

Slutligen poängterar känslighetsanalysen vikten av möjligheten till avsättning av all värme, el och näringsämnen till ett högt pris. Minskas dessa intäkter med ca 30 % motsvarar det en ökad behandlingsavgift på ungefär 100-150 kr/ton hästgödsel.

Antas ett transportavstånd på 5 mil, blir transportkostnaden ungefär 100 kr/ton. Vidare visar investeringskalkylen att det krävs en behandlingsavgift vid grind i spannet -100 till 550 kr/ton beroende på förekomsten av stöd och hygieniseringskrav. Antas hästen producerar 7,5 ton gödsel/år innebär detta en årskostnad på 0-3 400 kr/häst för hästägaren. Det betyder att med rätt förutsättningar och stöd skulle hästgödselhanteringen kunna bli kostnadsneutral för hästägaren.

Som nämnts i inledningen varierar kostnaden för hästägarna idag stark. Wennerberg och Dahlander (2013) angav en kostnad på 160-6 000 kr/häst och år i Göteborgs-regionen. En undersökning genomförd av HNS (2012) i Skaraborgsregionen visade på kostnader runt 900-2 000 kr/container. Antas att en container rymmer 10 ton och att hästen producerar 7,5 ton/år blir detta ungefär 90-200 kr/ton eller 675-1 500 kr per häst och år.

8 Diskussion

8.1 Måluppfyllelse

Nedan följer en diskussion rörande måluppfyllnad och resultat från projektet. Respektive mål redovisas var för sig.

1. *att demonstrera ett system för att konvertera hästfastgödsel till flytgödsel med tillräckligt hög sönderdelningsgrad så att effektiv omblandning av konventionell våtrötkammare inte hindras*

ABP-förordningen och storleken på de häststall som fanns tillgängliga i Sötåsens närområde begränsade tillgången till olika gödselslag. De stall som kunde förse försöken med tillräckligt stora mängder gödsel använde under försöken främst spån som huvudströmedel. Detta innebar att det inte var möjligt att genomföra långtidsförsök på andra strömedel.

Dock fanns det tillräckligt med halmpelletsgödsel för att under en kortare period testa denna typ av substrat. Vidare var andelen längre halm betydande under vissa delar av första försöksledet. Denna halm hanterades utan några observerade problem under försöken med hjälp av den skärande pumpen och fastmixerutrustningen. Det genomfördes aldrig några försök med utrustning för finare sönderdelning p.g.a. den varierande tillgången av gödsel med betydande andel halm.

Under sommaren 2012 genomfördes sönderdelningsförsök av djupströbbädd vid Sötåsen. Dessa försök genomfördes med samma utrustning som användes under försöken i denna rapport, med undantaget att utrustningen 2012 var kompletterad med en kvarn för att förbättra den våta sönderdelningen. Försöken från 2012 visade på en god sönderdelningsgrad (Edström m.fl., 2013). Dock var det stora problem kopplade till föroreningar i gödseln i form av grus och sten som slet på kvarnen. Det var även mer problem relaterade till driftsstopp för den skärande pumpen som främst förorsakades av större föremål som t.ex. spik och rep.

Hästgödseln innehöll mindre mängder föroreningar jämfört med djupströbbädden. Men det bedöms ändå att det kommer att krävas ett system för avskiljning av grus och sten om en kvarn liknande den som användes 2012 skall gå att använda för finare våtsönderdelning av hästgödsel med långhalm.

Huvudrötkammaren gick att hålla totalomblandad under hela försöken. Däremot uppstod problem med efterrötkammaren som inte har samma omrörarkapacitet. I efterrötkammaren uppstod ett okontrollerat svämtäcke efter att ungefär 2/3 av försöksperioden passerat. Svämtäcket uppstod under en period då övervakningen av anläggningen var lägre än normalt p.g.a. skörd samt att eleverna återvände efter sommarlov. Det är möjligt att svämtäcket gått att undvika genom ökad drifttid på befintlig omrörare innan svämtäcket blev för tjockt. Att inte samma problem uppstod i huvudrötkammaren visar att det hade gått att avhjälpa problemet genom att

installera ytterligare en omrörare i efterrötkammaren. Under försöken löstes problemet med svämtäcke i efterrötkammaren genom att tillsätta urin till rötkammaren för att späda den och bryta svämtäcket.

Detta problem med svämtäcke i efterrötkammaren belyser dock det faktum att designen av omrörarsystemet är avgörande för vilka blandningar och vilken sönderdelningsgrad som krävs vid den enskilda biogasanläggningen.

2. *att ingen färskvattentillsats skall vara nödvändig vid konvertering av hästgödsel till flytgödsel*

Konverteringen av fastgödseln till flytgödsel genomfördes utan tillsats av vatten eller annat spädmedium förutom rötrest. Vid normaldrift blandades hästgödsel och rötrest i sådana proportioner att TS-halten i den färdiga blandningen var ungefär 9,5–11 %.

3. *att hästgödseln skall bidra med mer än 10 ggr så mycket energi (biogas) som förbehandlingen av densamma kräver (el)*

Elbehovet för sönderdelning och inmatning utgjorde ungefär 5 % av energiproduktionen (biogas) som härrör från hästgödsel under försöken. Denna beräkning gäller för spångödsel med inslag av halm och foderrester. Energibehovet för fast inmatning av gödsel med finhackad eller pelleterad halm som strö är lägre. En högre TS-halt i rötkammaren kan tänkas påverka förbrukningen för sönderdelning något uppåt eftersom rötkammarinnehållet används som spädmedium. Men en högre TS-halt kommer troligtvis främst att minska kapaciteten på utrustningen.

4. *att visa att hästgödsel kan samrötas med nötflytgödsel i sådana proportioner att minst 50 % av biogasen härrör från hästgödseln*

Under försöken rötades spånhästgödsel i sådana mängder att den beräknades bidra med uppemot hälften av biogasproduktionen. Dock var inblandningsgraden för hög för att det på lång sikt skulle ha gått att bibehålla dessa förhållanden mellan hästgödsel och flytgödsel. TS-halten i rötkammaren hade då troligtvis närmast sig 13 % när jämvikt infunnit sig.

I kapitel 6 genomförs massbalansberäkningar. Dessa indikerar att det krävs en betydande andel halm i ströblandningen för att det skall gå att bibehålla en TS-halt på 9 % i rötkammaren och samtidigt nå ett blandningsförhållande där hästgödseln bidrar med halva biogasproduktionen.

5. *att fastställa hur stor del av gödselblandningens gaspotential som faktiskt utvinns vid våtrötning i en mindre biogasanläggning*

Utifrån de utrötningsförsök som utförts på rötkammarinnehåll från efterrötkammaren samt den gasproduktion som uppmäts under försöken, är bedömningen att ungefär 65 % av den totala biogaspotentialen från substraten har nyttiggjorts. Det bör dock nämnas att resterande 35 % utgörs av svåromsättbart material, exempelvis lignin som härstammar från sågspån och halm. Det krävs betydande uppehållstider eller någon slags förbehandling för att nyttiggöra resterande biogaspotential.

6. *att ta fram en tekniskt motiverad behandlingsavgift för hästgödsel utifrån beräknade kostnader för transport, lagring, konvertering till flytgödsel och eventuell hygienisering av hästgödsel samt beräknade intäkter från häst-*

gödselrelaterad biogasproduktion och värdet av hästgödsels växtnäring efter rötning

Investeringskalkylen indikerar att en tekniskt motiverad behandlingsavgift för hästgödsel vid en gårdsbiogasanläggning beräknas vara mellan 0 och 550 kr/ton exklusive transport till anläggningen. Transportkostnaden i detta projekt var ungefär 1,5 kr/ton och kilometer samt ytterligare 19 kr/ton för lastning och framkörning. Denna kostnad påverkas dock av många faktorer som t.ex. vilken hastighet lastbilen kan köra. Lönsamhetskalkylen indikerar dock att det kan finnas enstaka fall med befintliga anläggningar, där värdet av hästgödseln och producerad gas även kan bära en del av transportkostnaden. Men det är viktigt att ha i åtanke att lönsamhetskalkylen endast visar fallet där oförändrad lönsamhet uppnås.

Den stora spridningen i behandlingsavgiften beror bl.a. på vilket strömedel som används samt till vilket värde gödsel, värme och el går att avsätta. Vidare påverkar kraven på hygienisering behandlingsavgiften och bidrar även med en osäkerhetsfaktor p.g.a. den låga tekniska mognadsgraden.

8.2 Sammanfattning av erfarenheter och råd från projektet

Projektet har varit lärorikt och genererat information som kan vara värdefull för lantbrukare och hästföretagare som är intresserade av att undersöka förutsättningarna för att röta hästgödsel.

Logistiskt sett innebär storleken på hästgårdarna en utmaning. Sötåsen med sina 70 mjölkkor och en rötammare på 260 m³ är en av de mindre biogasanläggningarna i landet. Samtidigt krävdes gödsel från 50-100 hästar för att utnyttja anläggningens fulla potential. För en medelstor biogasanläggning på 1000 m³ innebär detta att gödsel från ett stort antal hästar behövs, alternativt att utrustningen används för att även röta andra fasta substrat som t.ex. kycklinggödsel.

Hästföretagare kan öka lönsamheten vid hästgödselrötning genom att i största möjliga utsträckning välja finfördelad halm som strömedel (t.ex. halmpellets). Detta gör att gödseln kan ge dubbla mängden gas jämfört om spån eller torv väljs som strömedel. Vidare är det bra om hästföretagaren kontinuerligt jobbar med att minimera mängden sten och grus i gödseln. Det minskar kostnader för slitage på kvarnar och pumpar vid anläggningen samt hanteringen av sediment. Även ett gott smittskyddsarbete vid hästgården kan vara fördelaktigt, eftersom detta minskar riskerna för lantbrukaren som står värd för biogasanläggningen.

Vid anläggningen som skall ta emot gödsel är det viktigt att rutiner och infrastruktur anpassas för att minska risker för smittspridning. Detta är viktigt oavsett om anläggningen kommer att hygienisera gödselströmet eller ej.

För lönsamheten är det viktigt att ha avsättning för el, värme och växtnäringsämnen. Detta kan kräva samarbete med externa aktörer som t.ex. en ekologisk växtodlingsgård. Vidare är det viktigt att hålla kapital- och underhållskostnaderna för fastinmatningssystemet nere för att uppnå ett lönsamt system.

Tekniska utmaningar utgörs av teknik för hygienisering och omrörarsystemet till rötammaren. Vanligtvis har Jordbruksverket gett dispens från kravet på hygienisering om det är upp till tre gårdar som samrotar sin gödsel. Detta innebär att det i många fall kommer att krävas hygienisering av gödselblandningen som rötas.

Som nämnts i rapporten begränsas möjligheterna till värmeåtervinning av den höga TS-halten gödselblandningen får om klassisk pastörisering tillämpas. Därför utgör hygienisering en teknisk utmaning.

Det är även viktigt att beakta att det finns en mängd olika omrörarsystem installerade i de gårdsbiogasanläggningar som är i drift idag. En del av dessa är väl lämpade för rötning med höga TS-halter, samtidigt som andra är sämre anpassade för detta.

8.3 Fortsatta studier

Utifrån detta projekt är det främst inom två områden som författarna anser att kunskapsläget är för dåligt och utgör ett hinder för rötning av stora mängder hästgödsel. Dessa utgörs av:

- 1) Hygienisering kopplat till processer med hög TS-halt på ingående substrat
- 2) Förekomst av sten och grus samt andra föroreningar i fastgödsel

I dagsläget saknas praktisk erfarenhet från system som kan lösa hygieniseringsbehovet vid en anläggning som rötar stora mängder fasta substrat. Detta utgör ett hinder för tillgodogörande av den biogaspotential som dessa substrat utgör. Vidare saknas kunskap om hur stor andelen partiklar, såsom grus och sten, är i hästgödsel och andra fastgödselslag. Vidare saknas kunskap om variationer av förekomsten och hur de på effektivast sätt kan minskas.

9 Slutsatser

Syftet med detta projekt var att möjliggöra rötning av betydande mängder hästgödsel i befintliga biogasanläggningar och därmed förvandla ett kvittblivningsproblem till en resurs. JTI anser att detta projekt bidragit till att nå detta syfte genom att öka kunskapsnivån kring tekniska och ekonomiska förutsättningar att röta hästgödsel. Nedan listas sex viktiga resultat från detta arbete:

- Hästgödsel strödd med halmpellets eller sågspån är i förhållande till djupströbbädd ett lätthanterligt substrat som har gett få tekniska problem under försöken.
- Grus, sten och andra föroreningar var i detta projekt ett mindre problem jämfört med djupströbbädd från Sötåsen som rötats tidigare år. Dock är det fortfarande en av de största tekniska utmaningarna eftersom det dels bidrar till sedimentering, dels försvårar fin sönderdelning med t.ex. kvarnar.
- En rötkammare vid en mjölkgård med 70 mjölkkor skulle tillsammans med flytgödseln från korna även kunna röta hästgödsel från ungefär 70-100 hästar. Detta utan att rötkammaren behöver byggas ut.
- Strömedlet är avgörande för biogasutbytet och ekonomin. Om hästägaren väljer att strö med halmpellets eller finfördelad halm förbättras den ekonomiska kalkylen drastiskt jämfört med spån- och torvhästgödsel.
- En gårdsanläggning med Sötåsens förutsättningar som redan har utrustning för inmatning av fasta substrat, skulle kunna öka sin lönsamhet med upp till 300 kr/ton hästgödsel om de rötar halmpelletshästgödsel utan hygienisering.
- Samrötning av halmpelletshästgödsel och nötflytgödsel i en nybyggd anläggning fyra gånger större än Sötåsen skulle kunna ske utan att en behandlingsavgift behöver tas ut. Detta förutsätter att anläggningen får tillstånd att röta gödseln utan att hygienisering krävs. Alternativt att det utgår ett investeringsstöd eller ett gödselgasstöd enligt antagandena i denna rapport.

10 Referenser

- Carlsson B., Nordström A., Persson P.-O. 2014. Handbok vid hantering av substrat och rötrest vid biogasanläggningar. Rapport. LantbruksGas Västra Götaland
- Edström M., Schüßler I och Luostarinen S. 2011. Combustion of Manure: Manure as Fuel in a Heating Plant. Baltic MANURE WP6 Energy potentials.
- Edström M., Ascue J., Olsson H., Rogstrand G., Maria del Pilar Castillo. M. d. P Nordberg Å., Schnürer A. Persson P.-O. Andersson L. Bobeck S., Assarsson A., Benjaminsson A., Jansson A. Alexandersson L. 2013. Rötning av fastgödsel vid Sötåsens gårdsanläggning. SLF-rapport.
- Energimyndigheten, 2010. Produktion och användning av biogas år 2010.. ES 2011:07.
- Enhäll, J., Nordgren, M., Kättström, H., 2012. Hästhållning i Sverige 2010. Jordbruksverket. Rapport 2012:1. Sverige.
http://www.jordbruksverket.se/download/18.6223f767134a3048c1e8000226/1325664286592/HasthallningiSverige_2010.pdf
- Hjort-Gregersen K. 1998. Biogasf ællesanæg. Økonomiske resultater og analyser. Staens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, Danamrk.
- Jordbruksverket, 2011 a. Hästar och anläggningar med häst 2010. Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden, JO 24 SM 1101.
- Jordbruksverket. 2011 b. Rötning av animaliska biprodukter.
<https://www.jordbruksverket.se/download/18.6f9b86741329df6fab48000334/Information+r%C3%B6tning+abp+110921.pdf> (2014-02-23)
- Linné M., Björnsson L., Lantz B., 2008. *Den Svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter*. Avfall Sverige.
- Malgeryd J., Karlsson S., Rodhe L, Salomon E. 2002. Stallgödsel – en resurs i ditt företag. Skogs- och Lantarbetsgivareförbundet (SLA). <http://www.sla-arbetsgivarna.org>.
- McCabe W. L., Smith J. C. och Harriot P. 2005. Unit Operations of Chemical Engineering, New York, USA: McGraw-Hill, ISBN: 007-124710-6
- Mönch-Tegeder M m.fl. 2013. Investigation of the methane potential of horse manure
- Nilsson, S. 2000. Gårdsbaserad biogas på Plönninge naturbruksgymnasium En förstudie med det tyska konceptet som grund. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala. ISSN 1401-4955
- Norin E. 2007. *Alternativa hygieniseringsmetoder*. Rapport SGC 179 .1102-7371. ISRN SGC-R-179-SE
- Nordberg U. och Nordberg Å., 2007. *Torrötning – kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov*. JTI-rapport, Lantbruk och Industri 357, sid 27. <http://www.jti.se/uploads/jti/R-357UN.pdf>
- Nordberg Å. Edström M. 1997. *Optimering av biogasprocessen för lantbruksrelaterade biomassor*. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr 11
- Nordberg Å. Edström M. Petersson C-M. Thyselius L. 1997. *Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall*. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr 13
- Nordberg Å. Edström M., 1997. *Co-digestion of ley crop silage, straw and manure*. In: The Future of Biogas in Europe. Bio Press, Herning, Denmark: pp. 74-81

- Steineck S., Svensson L., Jakobsson C., Karlsson S., Tersmeden M. 2000. Hästar – gödselhantering. Teknik för lantbruket 82. Institutet för jordbruks- och miljöteknik.
- Wennerberg och Dahlander. 2013. Hästgödsel som en resurs - En förstudie om olika hanteringskedjor för hästgödsel. Rapport. TecnoFarm.
- Wester, L. Ångtabell och diagramsamling, Institutionen för termisk energiteknologi, KTH, Stockholm, December 1983.

Bilaga 1. Gödsel och rötrest

Denna bilaga innehåller fraktionsbestämningar av partikelstorleken, viskositetsanalyser samt gödselanalyser för gödseln och rötresten.

Fraktionsbestämning

Det genomfördes silning på spångödsel från första försöksledet och halmpellets-gödsel från andra försöksledet samt nötflytgödsel och rötkammarinnehåll för att fraktionsbestämma partikelstorleken. Fraktionsbestämningen genomfördes med maskstorlekarna 4 mm, 2 mm och 1 mm. Ruta A i bilden nedan visar hästgödsel från första försöksledet, där sågspån användes som strömedel. Ruta B, C och D visar resultatet för de olika maskstorlekarna efter att rikligt med vatten spolats över gödseln.



Därefter torkades de olika fraktionerna för att bestämma hur stor andel av den totala mängden TS som samlats i respektive fraktion. Tabellen nedan visar resultaten för de olika fraktionerna för båda hästgödselproverna.

	Spångödsel FL1		Halmpelletsödsel FL2	
	Andel av våtvikt	Andel av TS	Andel av våtvikt	Andel av TS
> 4 mm	20 %	45 %	12 %	35 %
4 till 2 mm	4 %	9 %	10 %	28 %
2 till 1 mm	4 %	9 %	6 %	17 %
< 1 mm	16 %	36 %	7 %	20 %
TS-halt på provet	44 %		34 %	

Nästan hälften av all TS i gödseln från första försöksledet utgjordes av partiklar större än 4 mm. Vid manuell utsortering av strån från den fraktionen blev resultatet att ca 19 % av torrsubstansen i hästgödseln från första försöksledet utgjordes av halm och foderrester. Alltså bestod knappt hälften av de partiklar som var större än 4 mm av strån och resten utgjordes främst av sågspån. Halm-pellets gödseln hade en något större fraktion av partiklar mindre än 4 mm. Detta kan delvis bero på att spångödseln till viss del även bestod av gödsel från hästar strödda med halm.

Tabellen nedan visar resultaten av fraktionsbestämningar av flytgödsel, röt-kammarinnehåll samt ett prov från blandningsbrunnen där 500 kg hästgödsel blandats med ca 6 m³ rötkammarinnehåll från huvudrötkamaren.

	Flytgödsel (19/11)		Rötkammare 1 (19/11)		Rötkammare 2 (19/11)		Mix hästgödsel och rötrest (19/11)	
	% av våtvikt	% av TS	% av våtvikt	% av TS	% av våtvikt	% av TS	% av våtvikt	% av TS
> 4 mm	1,4 %	17 %	2,2 %	29 %	1,5 %	21 %	2,5 %	26 %
2 till 4 mm	1,0 %	12 %	0,8 %	11 %	1,0 %	14 %	1,6 %	17 %
1 till 2 mm	0,7 %	8 %	1,1 %	15 %	0,8 %	12 %	1,0 %	11 %
< 1 mm	5,4 %	63 %	3,8 %	50 %	4,0 %	56 %	4,7 %	49 %
TS-halt på provet	8,5 %		7,9 %		7,3 %		9,8 %	

Viskositet

Nedan följer flytkurvor samt kurvanpassningar för genomförda prov. Kurv-anpassningen visar en viskositetskurva där x står för skjuvhastigheten, vilken kan skrivas du/dy med enheten s^{-1} , och y står för viskositeten som brukar skrivas som μ med enheten Pa s. Ekvationen för viskositetskurvan kan därför skrivas enligt:

$$\mu = K \left(\frac{du}{dy} \right)^n$$

I litteraturen skrivs vanligtvis detta samband om till en flytkurva enligt Ostwald-de Wales ekvation där τ är skjuvspänningen och har enheten Pa. Konstanten n' benämns flödesbeteendet och är liksom n i förra ekvationen enhetslös. Mer om detta går att läsa i t.ex. McCabe (2005).

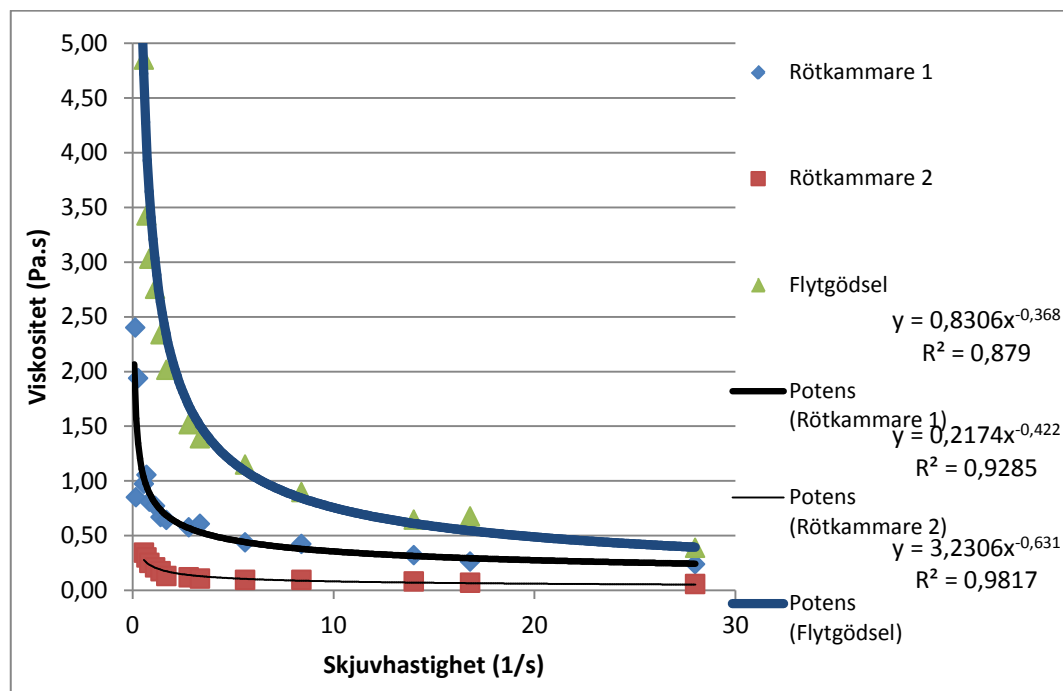
$$\tau = K \left(\frac{du}{dy} \right)^{n'}$$

Konstanten K är den samma för både flytkurvan och viskositetskurvan. Sambandet mellan n och n' är:

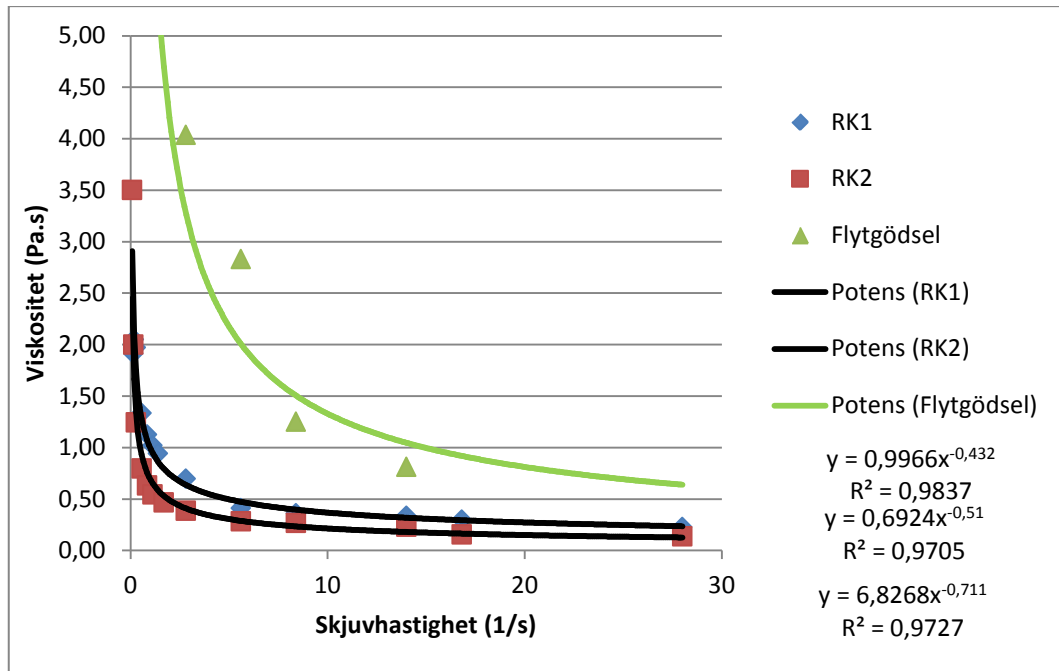
$$n' = n + 1$$

Tabellen nedan redovisar TS-halten i samtliga prover som det genomförts viskositetsmätningar på.

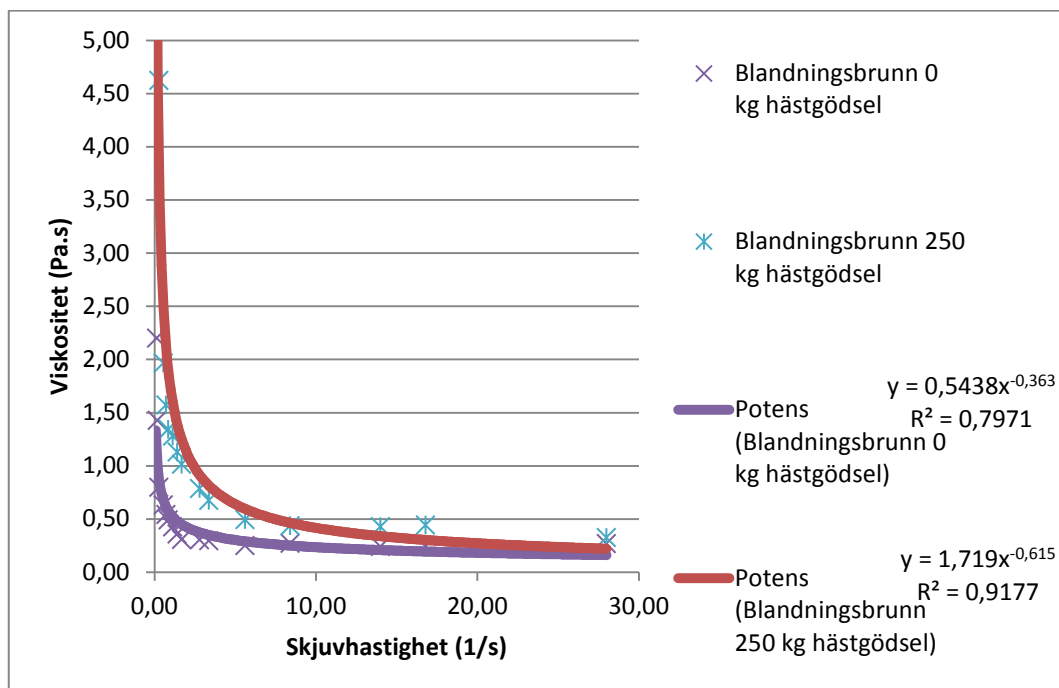
Provpunkt	Datum	TS
Rötkammare 1	2013-07-17	8,34
Rötkammare 2	2013-07-17	6,68
Flytgödsel	2013-07-17	6,89
Blandningsbrunn 0 kg hästgödsel	2013-07-17	7,79
Blandningsbrunn 250 kg hästgödsel	2013-07-17	9,60
Rötkammare 1	2013-11-19	7,58
Rötkammare 2	2013-11-19	7,07
Flytgödsel	2013-11-19	8,52
Blandningsbrunn 500 kg hästgödsel	2013-11-19	9,56



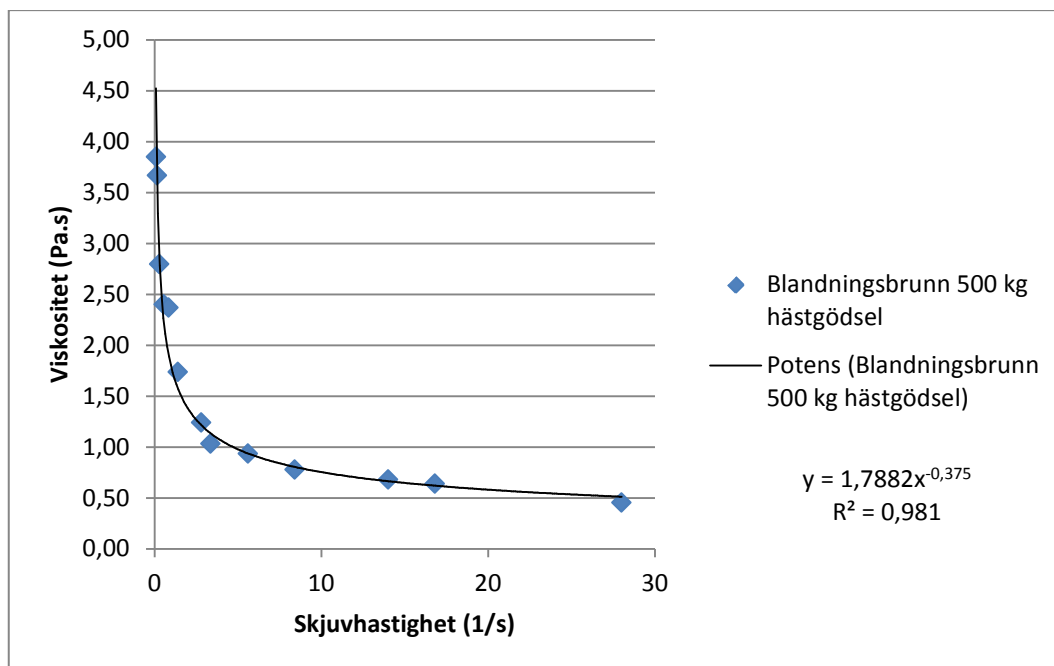
Viskositet för RK1, RK2 flytgödsel från 2013-07-17.



Viskositet för RK1, RK2 och flytgödsel från 2013-11-19.



Viskositet från blandningsbrunnen (2013-07-17) med olika mängd hästgödsel-inblandning.



Viskositet från blandningsbrunnen (2013-11-19) med 500 kg hästgödsel.

Växtnäringsanalyser

Växtnäringsanalyser för hästgödsel strödd med spån, halm och torv samt för respektive strömedel.

	Halm-pellets	Halm-pellets gödsel	Trä-pellets	Trä-pellets gödsel	Torv-mix	Torv-mix gödsel
Torrsubstans, TS (%)	85	39	85	38	48	36
Glödförlust (% av TS)	94	90	99	92	98	93
Tot-kväve (kg/ton)	6,8	7,2	6,2	5,9	6,7	8,3
Organisk kväve (kg/ton)	6,7	5,9	5,7	4,7	6,7	6,1
Ammoniumkväve (kg/ton)	0,05	1,25	0,48	1,24	0,01	2,24
Tot-kol (kg/ton)	418	182	448	182	264	182
C/N	62	25	72	31	39	22
Totalt fosfor (kg/ton)	0,78	1,40	0,09	0,50	0,12	0,51
Totalt kalium (kg/ton)	8,41	7,10	0,58	5,37	0,29	4,42
Totalt magnesium (kg/ton)	0,94	0,77	0,20	0,56	0,37	0,71
Totalt kalcium (kg/ton)	2,58	2,61	1,07	1,88	0,64	2,20
Totalt natrium (kg/ton)	0,01	0,96	0,01	0,21	0,07	0,35
Totalt svavel (kg/ton)	0,61	0,71	0,10	0,48	0,69	0,71

Växtnäringsanalyser för de gödselslag som rötades vid Sötåsens Naturbruksgymnasium under sommaren 2013.

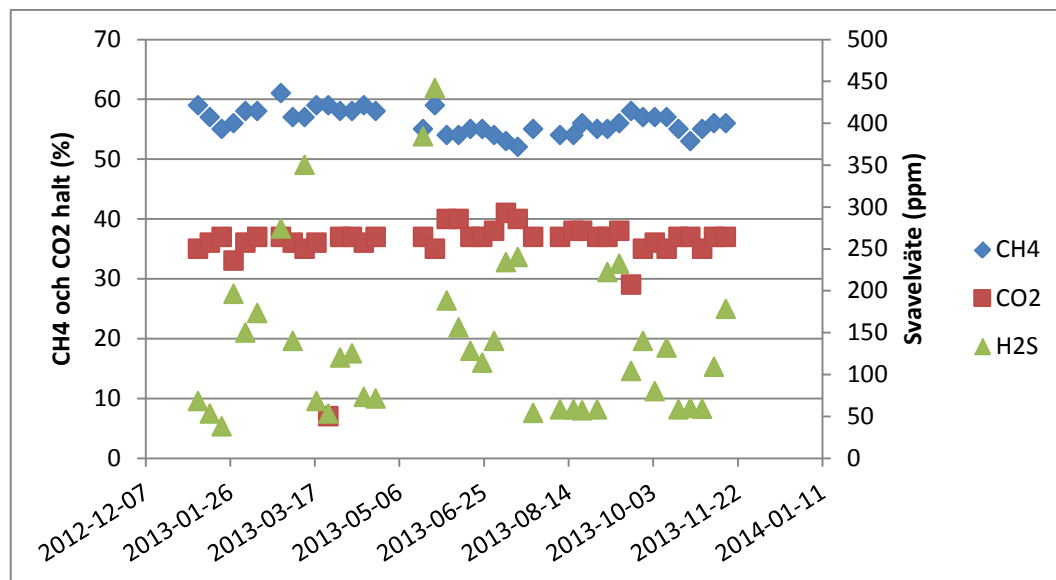
Gödsel	Hästgödsel		Flytgödsel vid två tillfällen	
	FL1	FL2		
Torrsubstans, TS (%)	49,3	32,6	8,4	6,2
Glödförlust (% av TS)	90,3	89,8	84,7	84,5
Tot-kväve (kg/ton)	4,6	3,8	3,4	2,5
Organisk kväve (kg/ton)	4,3	3,1	2,0	1,6
Ammoniumkväve (kg/ton)	0,3	0,7	1,3	0,9
Tot-kol (kg/ton)	228,4	157,1	40,2	29,7
C/N	50,1	41,7	12,0	11,9
Totalt fosfor (kg/ton)	0,8	1,07	0,55	0,40
Totalt kalium (kg/ton)	5,6	5,04	3,92	2,57
Totalt magnesium (kg/ton)	0,7	0,68	0,49	0,32
Totalt kalcium (kg/ton)	2,3	2,13	1,14	0,75
Totalt natrium (kg/ton)	0,7	0,97	0,36	0,13
Totalt svavel (kg/ton)	0,5	0,56	0,26	0,21

Växtnäringsanalys för rötkammarinnehåll från slutet av respektive försöksled under sommaren 2013.

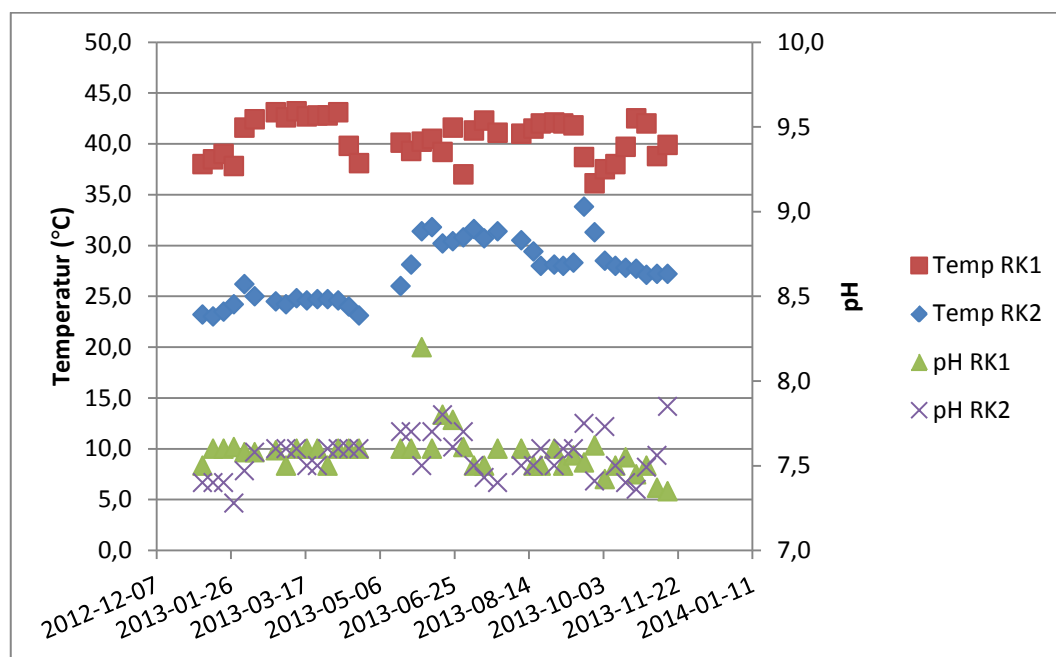
Rötrestart	FL1		FL2	
	RK1	RK2	RK1	RK2
Torrsubstans, TS (%)	6,8	7,0	7,3	7,1
Glödförlust (% av TS)	82,9	81,9	85,1	83,5
Tot-kväve (kg/ton)	2,4	2,5	2,7	2,7
Organisk kväve (kg/ton)	1,0	1,0	1,3	1,3
Ammoniumkväve (kg/ton)	1,3	1,5	1,4	1,4
Tot-kol (kg/ton)	29,9	31,6	35,4	33,3
C/N	12,5	12,7	13,3	12,2
Totalt fosfor (kg/ton)	0,4	0,5	0,51	0,53
Totalt kalium (kg/ton)	2,9	2,9	3,27	3,78
Totalt magnesium (kg/ton)	0,4	0,4	0,43	0,46
Totalt kalcium (kg/ton)	0,9	1,1	1,01	1,11
Totalt natrium (kg/ton)	0,2	0,2	0,33	0,38
Totalt svavel (kg/ton)	0,2	0,3	0,24	0,26

Bilaga 2. Biogasproduktion och driftsparametrar

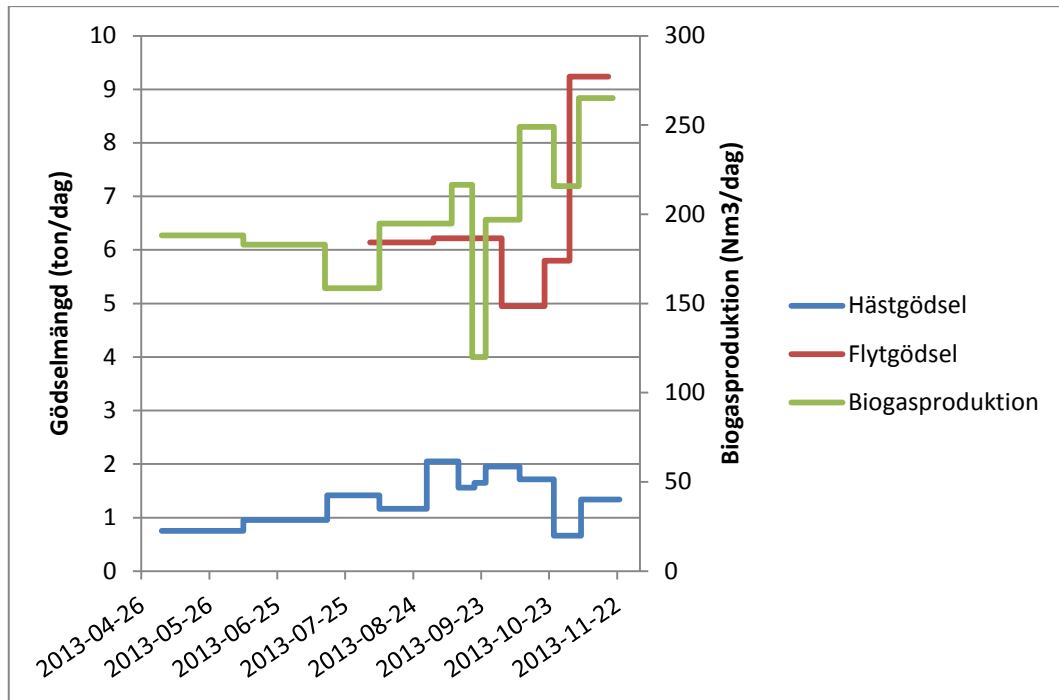
I denna bilaga redovisas insamlad data för biogasprocessen från fullskaleförsöken vid Sötåsen.



Gaskvalité under försöksperioderna.



Temperatur och pH i rötammaren.



I figuren ovan redovisas tillförda gödselmängder samt biogasproduktionen.

Bilaga 3. Hygienisering och värmebehov

Problematiken med att pastörisera gödselblandningar med hög andel fastgödsel relaterar till att blandningarna får en hög TS-halt. Den höga TS-halten gör att det blir svårt att återvinna värmen som tillförs vid pastöriseringen. Blandningarna i scenario 1-3 får en TS-halt på drygt 12-14 %. JTI känner i dagsläget inte till anläggningar där det sker pastörisering med värmeåtervinning på dessa blandningsförhållanden.

Nedan finns förslag på ett antal alternativa lösningar med varierande teknisk mognadsgrad.

- 0) Mesofil (37 °C) process utan värmeåtervinning.
- 1) Injicera ånga vid 200-250 °C direkt in i hästgödseln. Ångbehovet torde vara ca 100 kg/ton vatten. Detta ger ungefär en värmemängd i ångan på ca 80 kWh/ton hästgödsel. Inkluderas pannverkningsgrad på 90 % blir bränsleåtgången ca 90-100 kWh biogas/ton hästgödsel. Nötflytgödseln hygieniseras separat med 2-stegs värmeåtervinning.
- 2) Blanda hästgödseln med flytgödsel som förvärmats till 25 °C (temperaturen har höjts från 10 °C till 25 °C via värmeväxlare mot utgående rötrest i röt-kammaren) & avvattnad rejekt efter hygiensiering. Blandningen i hygieniseringsbehållaren får en TS-halt på ca 9 %. Därefter pastöriseras blandningen på vanligt vis och sedan avvattnas blandningen med hjälp av t.ex. en skruvpress. Fasta fasen får en TS-halt på ca 25 % med vilken röt-kammaren beskickas och rejektet återcirkuleras till pastöriseringstanken. På detta sätt kan en vanlig pastöriseringstank användas eftersom den varma spädvätskan återanvänds.
- 3) Termofil rötning med en garanterad uppehållstid utan värmeåtervinning på utgående rötrest.
- 4) Termofil rötning med en garanterad uppehållstid samt värmeåtervinning på utgående rötrest.

Tabell 9 i kapitel 7 bygger på värmebalansberäkningar utförda för dessa fem olika processalternativ. Alternativ 1 bedöms kunna ha ett värmebehov på samma nivå som den konventionella mesofila processen utan värmeåtervinning. Dock kräver denna process att el eller biogas används för att generera ånga för hygieniseringen av hästgödseln istället för restvärme från kraftvärmeaggregatet. Ångbehovet bedöms vara drygt 20 kWh/ton hästgödsel. Alternativ 2 kräver en avvattningsutrustning och bedöms även ha ett högre värmebehov, men kan i gengäld använda restvärme till stor del av uppvärmningen, även om det troligtvis kan krävas att den befintliga biogaspannan spetsar värmen från kraftvärmeenheten.

Bilaga 4. Förutsättningar för ekonomiberäkningar och värmebalansberäkningar för hygienisering av fastgödsel

I denna bilaga redovisas förutsättningarna för de två kalkylmodeller som använts i den ekonomiska utvärderingen i detta projekt.

Lönsamhetskalkyl för en anläggning av Sötåsens storlek

Nedan redovisas antaganden som ligger till grund för beräkningarna i kapitel 8.2.

Tabellen nedan visar vilka intäkter el och värme antas generera.

	Värde
El	67 öre/kWh
Värme	53 öre/kWh

Växtnäring har värderats utifrån Greppa näringens värderingskalkyl. Antaget näringsvärde är baserat på mängd hästgödsel och näringsinnehållet i denna från våra växtnäringsanalyser till utrotningsförsöken.

Kalium värderas till 7,4 kr/kg och fosfor till 17,65 kr/kg. För kväve antas 50 % omvandlas till ammonium och att 60 % av detta kan värderas till 10 kr/kg.

Den samlade kostnaden för spridning och markpackning samt värdet av långtids-verkan från organiskt kväve och bördighet beräknas till en kostnad på 6 kr/ton

Intäkter

Enligt beräkningar kan rötning av hästgödsel generera en intäktsökning på ca 200-400 kr/ton tillförd hästgödsel. Detta förutsatt att gården har avsättning för all producerad el och värme samt att växtnäringen kan värderas enligt Greppa näringens värderingsmodell. Rötas en blandning av spån och torv blir värdet strax över 200 kr/ton. Rötas däremot endast halm eller halmpellets-gödsel kan värdet bli upp mot 390 kr/ton.

	Halm	Spån och torvblandning
El	108 kr/ton	54 kr/ton
Värme	197 kr/ton	98 kr/ton

Ungefär en fjärdedel av intäktsökningen härrör från växtnäringsvärdet efter att spridningskostnader räknats bort. Tabell N1 visar hur växtnäringsämnen värderats i detta projekt. Utöver detta kan det tillkomma ytterligare transport-kostnader om det inte finns avsättning för all växtnäring vid gården.

Tabell N1. Värdering av växtnäring från tillförd hästgödsel (värdena angivna i kr/ton hästgödsel).

	Halmgödsel	Gödsel med spån och torv
Ammoniumkväve	17 kr/ton	16 kr/ton
Fosfor	24 kr/ton	8,6 kr/ton
Kalium	51 kr/ton	35 kr/ton
Spridningskostnad	-30 kr/ton	-30 kr/ton
Kväveeffekt	45 kr/ton	45 kr/ton
Bördighet	15 kr/ton	15 kr/ton
Packningsskador	-36 kr/ton	-36 kr/ton
Växtnäringsvärde	86 kr/ton	53 kr/ton

Utgifter

Identifierade utgiftsposter kopplat till rötning av hästgödsel är framförallt arbetstid, investering i förbehandlingsutrustning, ökat behov av omrörning och uppvärmning samt transporter.

Tabell 2. Investeringsbehov vid flytgödselbiogasanläggning för hantering av hästgödsel.

Investering		Avskrivningsperiod	Mängd hästgödsel	
			2,24 ton/dag	1,47 ton/dag
Lagringsplatta	100 000 kr	40 år	6,7 kr/ton	8,7 kr/ton
Mixer och fastinmatning	700 000 kr	10 år	111 kr/ton	170 kr/ton
Våt sönderdelning och sedimentering	400 000 kr	10 år	64 kr/ton	97 kr/ton

Tabell N3. Rörliga kostnader för hantering och förbehandling av hästgödsel.

	Mängd hästgödsel	
	2,24 ton/dag	1,47 ton/dag
Elförbrukning fasthantering/mixer	2,34 kr/ton	2,34 kr/ton
Underhåll mixer	3 kr/ton	5 kr/ton
Lastning av mixerbehållare	24,4 kr/ton	24,4 kr/ton
Elförbrukning Våt sönderdelning	5,46 kr/ton	5,46 kr/ton
Underhållsarbete våt sönderdelning	27 kr/ton	41 kr/ton

Tabell N4. Ökade driftskostnader för befintlig rötkammare.

	Mängd hästgödsel	
	2,24 ton/dag	1,47 ton/dag
El för omrörning	8 kr/ton	12 kr/ton
Värme mesofil drift	27 kr/ton	27 kr/ton
Värme termofil drift	67 kr/ton	83 kr/ton
Ökat värmebehov p.g.a. våt sönderdelning		
Sedimentation i rötkammaren	10-20 kr/ton	10-20 kr/ton

Investeringskalkyl

Nedan redovisas underlag och förutsättningar för de kalkyler som ligger till grund för kapitel 8.3.

Kalkylmodellen som använts för att generera investeringskalkylerna i detta projekt är Hushållningssällskapets kalkylmodell för investering i gårdsbaserad biogasproduktion. Anläggningen skall motsvara en anläggning fyra gånger större än Sötåsens biogasanläggning. Investeringskostnaden för rötammaren, rötrest, flytgödsel och gashanteringssystem är modellens standardvärden. Övriga investeringskostnader är uppskattade.

Gasproduktion, el- och värmeproduktion utgår från försöken samt dess grundpris utgår från förutsättningarna vid Sötåsens anläggning. Ev. övriga kostnader utgår från kalkylmodellens schabloner.

Avskrivningsprocent för olika delar av investeringen är schabloner från kalkylmodellen. Kalkylmodellen utgår från antagandet om 2 % inflation samt ytterligare 2 % prisökning på energi. Avkastningskravet är satt till 10 % och definieras som medelårsresultat med återlagd räntekostnad genom totala investeringsvolymen med eller utan investeringsstöd.

I tabellen nedan redovisas antagna investeringsbehov.

Investering (kr)	Scenario 1	Scenario 2 och 3
Rötningsanläggning	5 205 000	4 975 000
Sönderdelning/matning	600 000	500 000
Markanläggning inkl. platta	600 000	600 000
Pumpbrunn	200 000	200 000
Kulvert	50 000	50 000
El och vatten, övrigt	200 000	200 000
Gasmotor och generator	600 000	600 000
Hygienisering	2 750 000	2 600 000
Summa	10 205 000	9 725 000

I tabellen nedan redovisas antagna rörliga kostnader i penningvärdet för år noll. Även här skiljer sig vissa kostnader mellan de olika scenariorna åt, vilket dels beror av rötad mängd gödsel och dels av producerad mängd gas.

Övriga kostnader (kr/år)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Personalkostnader	70 000	70 000	70 000
Övriga kostnader	25 000	25 000	25 000
Underhåll Biogasanläggning	62 460	59 700	59 700
Sönderdelning och Hygienisering	48 000	46 200	46 200
Kraftvärmeenheten	118 073	74 200	91 774

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Vi är ett tekniskt jordbruksinstitut med tydlig miljö- och energiprofil. Institutets fokus ligger på innovation och utveckling i nära samarbete med företag, organisationer och myndigheter.

På vår webbplats publiceras regelbundet notiser om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Gratis mejlutskick av JTI:s nyhetsnotiser kan beställas på www.jti.se

På webbplatsen finns publikationer som kan läsas och laddas hem gratis. Se www.jti.se under fliken Publicerat.

Vissa publikationer kan beställas i tryckt form. För trycksaksbeställningar, kontakta oss på tfn 010-516 69 00, e-post: info@jti.se



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
Box 7033, 750 07 Uppsala
Telefon: 010-516 69 00, Telefax: 018-30 09 56
E-post: info@jti.se
www.jti.se