



# Biogas från hästgödsel i Halland

– från kvittblivningsproblem till ekonomisk  
och miljömässig resurs

Marie Mattsson

Niklas Karlsson

Sara Bergström Nilsson

Titel: Biogas från hästgödsel i Halland

Publiceringsdatum: 2 februari 2015

© Forskningsmiljön BLESS vid Högskolan i Halmstad, Box823, 30118 Halmstad

<http://www.hh.se/set/forskning/bless.273.html>

Denna publikation är tillgänglig via <http://hh.diva-portal.org>

## Förord

Projektet Biogas från hästgödsel i Halland har genomförts inom ramen för Länsstyrelsen i Hallands program Klimatmiljonen Halland under 2013 och 2014.

Hästgödselrötningar och resultatsammanställning har främst utförts på Högskolan i Halmstad av Niklas Karlsson och Marie Mattsson inom forskargruppen BLESS. I detta arbete har Till Saliari, energiingenjörstudent på praktik från Hochschule Biberach i Tyskland bidragit med stor hjälp. Strömedelstest och ekonomiska beräkningar har genomförts i Hushållningssällskapet Hallands regi, främst av Sara Bergström Nilsson och Kajsa Larelius.

Erhållna resultat och erfarenheter från detta projekt har resulterat i en rapport som vill lyfta fram möjligheterna att ta till vara hästgödseln i Halland för biogasproduktion.

Halmstad den 26 januari 2015

## I. Sammanfattning

Hästgödsel som substrat för biogasproduktion undersöktes i tre röttningsförsök. Resultaten från dessa tillsammans med olika strömedels för- och nackdelar, transportlogistik för gödseln och ekonomiska överväganden har bedömts med syfte att kunna presentera en helhetslösning för hästägare och hästföretag.

Röttningsförsöken visade att hästgödsel kan samrötas med nöt-, svin- och hönsködsel med godtagbar metanproduktion. Svingködsel har ett högt näringsinnehåll (framförallt kväve) som kompletterar den näringsfattiga hästgödseln på ett bra sätt samtidigt som den är mer flytande och därmed gör hästgödseln mer pumpbar. Både torv och halmpellets kan användas som strömedel med godtagbar metanproduktion. Kväveinnehållet blir lägre och kol-kväveknoten högre med torv jämfört med halmpellets men halmpellets har praktiska och ekonomiska fördelar framför torv. Färsk hästgödsel producerade mer metan med torv än med halmpellets, men efter lagring i en månad producerade hästgödseln med halmpellets mer metan än torvgödseln. Lagring i två månader var däremot negativt för metanproduktionen från båda hästgödsel/strömedel kombinationerna.

Sammantaget leder resultaten till en möjlig modell för hästgödselns utnyttjande för biogasproduktion innefattande samrötningssubstrat, strömedel, lagring, transport och ekonomi som kan rekommenderas för hästnäringen.

Flera miljömässiga fördelar med en ökad biogasrötning av hästgödsel kan lyftas fram. Produktion av ett förnybart bränsle, minskade klimatgasutsläpp och näringsförluster samt ett bättre kretsloppstänkande är några uppenbara sådana.

Rapporten ser stora möjligheter för utnyttjande av denna potential men pekar också på behovet av mer forskning och utveckling inom området

## Innehållsförteckning

1. Sammanfattning.....	3
2. Inledning.....	4
3. Bakgrund.....	8
3.1 Strömedel.....	8
3.2 Lagring.....	9
3.3 Transport.....	9
3.4 Kompostering.....	10
3.5 Rötning.....	10
3.6 Hantering av hästgödsel på biogasanläggningen.....	11
3.7 Regelverk.....	12
3.8 Praktiska erfarenheter på biogasanläggningen.....	12
3.9 Risk för kontaminering av gödseln.....	13
4. Metod.....	14
4.1 Insamling av material.....	14
4.2 Försöksupplägg.....	15
4.3 Laboratoriets utformning.....	17
4.4 Genomförande.....	18
4.5 Analyser.....	20
5. Resultat och diskussion.....	21
5.1 Försök med hästgödsel.....	21
5.2 Ekonomi.....	28
5.2.1 Värdet i hästgödsel.....	28
5.3 Transport av hästgödsel från gård till biogasanläggning.....	29
5.3.1 Exempel.....	31
6. Slutsatser.....	33
7. Referenser.....	37

## 2. Inledning

Sverige är ett hästtätt land och det produceras därför stora mängder hästgödsel. 2010 fanns det 362 700 hästar i Sverige (SCB, 2013) som gav upphov till ca 2,7 milj. ton

gödsel (Jordbruksverket, 2013). Denna gödsel har en stor energipotential (motsvarande ca 730 GWh/år) och utgör 17 % av den totala biogaspotentialen från lantbrukets gödsel (Linné et al. 2008). Betydande utsläpp av klimatgaser sker från lagring av hästgödseln (Berglund och Falkhaven, 2011). Genom att röta hästgödseln i en biogasanläggning kan dess höga innehåll av kol utnyttjas för produktion av metan, samtidigt som förluster av kväve i form av ammoniak och lustgas kan undvikas under de långa lagringstider som annars kan förekomma.

Hästgödsel innehåller värdefulla näringsämnen och bör därför återföras till jordbruket. (Jordbruksverket, 2013). Hästanläggningar som travbanor och ridskolor har dock ofta ingen egen areal att sprida gödseln på och därför förekommer det att hästgödsel bränns eller deponeras. Sedan 2005 är det förbjudet att deponera organiskt avfall vilket har lett till höga kostnader för att bli av med gödseln för många hästanläggningar. För hästnäringen spelar gödselhanteringskostnaden en viktig roll för den totala ekonomin. Framförallt blir hästgödseln ett problem i tätorter där det finns begränsad spridningsareal. Möjligheter till biogasrötning och avsättning för gödseln försvåras ytterligare eftersom det råder osäkerhet gällande lagstiftningen i framtiden. 2011 skärptes lagstiftningen avseende animaliska biprodukter. Detta innebär att hygienisering krävs om gödsel från mer än två gårdar ska rötas i en anläggning. Dessutom har det föreslagits en skärpning av gränsvärdena för både metaller och organiska ämnen vilket ytterligare kan försvåra användandet av gödsel och biogödsel som jordförbättrare (Naturvårdsverket, 2013). Att hitta en avsättning för hästgödsel och samtidigt kunna nyttja dess närings- och energiinnehåll är därför av stor betydelse för både djurhållare och biogasproducenter.

Hästgödsel är idag ur växtodlingsperspektiv inget attraktivt gödselmedel. Hästgödsel innehåller små mängder växttillgängligt kväve (endast ca 10 % ammoniumkväve av totalkvävet) och ofta stora mängder strö. Strömedel som halm, halmpellets, torv eller spån innehåller mycket kol och låga halter kväve vilket medför att kväve fastläggs i marken i samband med spridning av gödseln. En annan nackdel med hästgödsel är att den är i fast form, vilket gör den dyrare att sprida än t ex flytgödsel eftersom spridning av fastgödsel kräver mer personal och maskiner än spridning av flytgödsel. För att undvika fastläggning av kväve samt minska volymen av hästgödsel genomförs ofta en

kompostering av hästgödseln innan den sprids. Under komposteringen förloras kol i form av koldioxid och kväve i form av ammoniak, lustgas och nitrat.

Genom att istället röta hästgödseln tas kol i form av organiska molekyler tillvara och blir till biogas istället för att förloras samtidigt som kväveinnehållet i gödseln görs mer lättillgängligt för växter. Sammantaget gör rötningen att hästgödseln blir betydligt mer attraktiv för spridning på åkermark. Olika tekniker och möjligheter för rötning finns beskrivna såsom våt- och torrötning, samrötning med andra substrat eller rötning vid olika temperaturer. Förbehandling genom kompostering eller hackning kan förbättra energiutvinningen.

Ett annat alternativ till rötning är förbränning av hästgödseln vilket också leder till att energin tillvaratas. Det krävs emellertid att förutsättningarna är riktiga så att inblandning av gödsel i pannan inte försämrar effektiviteten i förbränningen. Dessutom sluts inte kretsloppet om näringsämnen i gödseln inte återförs till åkermark.

Energiproducenter och hästföretagare känner idag osäkerhet kring möjligheterna att utnyttja hästgödsel för biogasproduktion och efterfrågar därför tydlighet i regelverk och praktiska räkneexempel och modeller för hur lönsamhet ska kunna uppnås. Genom att jämföra olika tekniker och behandlingar, och med fokus på miljö- och kostnadsfrågor, kan en sådan modell utformas, som är relevant för hela näringen. Detta kan leda till mer effektiv och miljömässig hantering av hästgödsel och kan reducera kostnaderna för hästföretagare. Samtidigt uppnås positiva effekter på utsläpp av växthusgaser och övergödningsproblem samtidigt som ett förnybart bränsle produceras.

I Halland fanns 2010 ca 14 600 hästar (SCB, 2013) vilket innebär att dessa frågor är mycket aktuella i denna region. Samtidigt finns mål på klimatområdet för Halland som anger hur mycket utsläppen av klimatgaser behöver minska framför allt från transporter och jordbruk (Averfalk et al. 2014). Rapporten visar att transporter och jordbruk kommer att dominera klimatgasutsläppen efter 2020. Vi behöver därför mer av förnybara bränslen samtidigt som jordbrukets utsläpp av metan och lustgas måste minska. Ett sätt att uppnå båda dessa mål är att utnyttja gödsel och restprodukter från jordbruket till biogasproduktion och att uppgradera gasen till fordonsbränsle. Ett s.k. gödselgasstöd är också på väg att genomföras för att främja denna utveckling och ersätta producenterna för den dubbla klimatnytta som biogaserötning av gödsel innebär (Jordbruksverket, 2014). Biogaserötning av svin- och nötflytgödsel förekommer sedan länge och antalet

biogasanläggningar ökar också i Halland (Sandberg et al. 2012) men att utnyttja hästgödsel i någon större utsträckning har ännu inte kommit igång. Sandberg anger en biogaspotential på ca 200 GWh/år från nöt- och svinflytgödsel i Halland om 80 % av gödseln skulle rötas. En uppskattning av potentialen för 80 % av Hallands hästgödsel ger 30 GWh/år vilket alltså skulle innebära en betydande biogaspotential. Ett problem med hästgödsel som substrat för biogasproduktion är strömedlet som oftast består av långhalm eller spån som är olämpliga för rötning eftersom det torra materialet sätter igen pumpar och rör eller kan orsaka svämtäcke i röt-kammaren. Insamlingslogistik, lagring och förbehandling är andra problemområden som måste lösas om hästgödsel ska kunna utnyttjas i biogassammanhang.

Biogasrötning av hästgödsel har undersökts och beskrivits i endast ett fåtal vetenskapliga artiklar. De flesta är utrotningsförsök i liten skala. Kusch et al (2008) som använde en torrrottningsprocess redovisade en metanpotential för färsk hästgödsel med halm som strömedel på 277 liter  $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$  VS och fann att finfördelning av substratet ökade metanproduktionen. Mönch-Tegeder et al. (2013) testade olika strömedel i ett batch-test med våtrötning samt undersökte också vilken effekt lagring hade på metanutbytet. Det visade sig att halm och halmpellets gav bäst metanutbyte samt att lin, träpellets och sågspån var olämpliga strömaterial för rötningen eftersom de inte bidrog nämnvärt till produktionen. Lagring av gödseln hade negativ inverkan på metanutbytet in den studien. I en amerikansk studie (Wartell et al. 2012) konstaterades att barrvedsflis som strömedel i och för sig inte inhiberade rötningen men inte heller bidrog till någon produktion eftersom barrvedsflisen knappast var nedbrytbara under de 45 dagar rötningen pågick.

I större skala finns anläggningar i Tyskland som huvudsakligen rötar hästgödsel (Wennerberg & Dahlander, 2013). Lönsamhet kan uppnås genom vidareförädling av rötresten samt förmånliga inmatningstariffer för el producerad med biogas. Också i Sverige vid Sötåsens naturbruksgymnasium har fullskaleförsök genomförts med hästgödsel från två närbelägna hästgårdar (Olsson et al. 2014). I detta fall har samrötning med nötflytgödsel i en våtröttningsprocess genomförts.

Mot bakgrund av detta har projektet ”Biogasrötning av hästgödsel – från kvittblivningsproblem till ekonomisk och miljömässig resurs” med stöd från Länsstyrelsen i Halland för avsikt att besvara ett antal frågor kring detta samt visa på hur



en hållbar behandling av hästgödsel kan bidra till positiva effekter för lantbruket och hästnäringen.

Projektet har i huvudsak behandlat följande frågeställningar:

- Hur påverkas metanproduktionen från hästgödseln av vilket strömedel som används?
- Hur påverkas metanproduktionen av lagringstid/kompostering inför rötningen?
- Vilka substrat är lämpliga att komplettera hästgödseln med för att få en optimal röttningsprocess och därigenom undvika näringsbrist för mikroorganismerna i processen
- Vilken effekt rötning av hästgödsel kan ha på ekonomin för ett hästföretag i form av en fallstudie
- Kvantifiera de positiva effekter som rötning av hästgödsel kan ha på miljön
- Vilken effekt på biogödselns näringsinnehåll som hästgödseln har?

## 3. Bakgrund

### 3.1 Strömedel

Hästens träck och urin suggs upp i stallet av det strömedel som används. På så sätt får hästen det torrt och rent i boxen. Strömedel bidrar till att binda kvävet i urin och träck till organiska former varför stora mängder strömedel kortsiktigt kan ge skördesänkningar när det sprids på åkern (Wennerberg och Dalander, 2013). Vanliga strömedel är halm, torv och spån i olika former. Halmströ förekommer som långstråig, hackad eller som halmpellets. Hackad halm har bättre vattenbindande förmåga jämfört med långhalm men halm har generellt dålig ammoniakbindande förmåga. Halmpellets tillverkas genom sönderdelning i kvarn till ett pulver innan pelletering. Detta gör att när halmpelletsen trampas sönder bildas ett pulverliknande material som har hög absorptionsförmåga och är lämpligt för kompostering och biogasproduktion. Torv som strömedel har den bästa förmågan att suga upp vätska och att binda kvävet i gödseln men anses ofta olämpligt för biogasproduktion (Wennerberg och Dalander, 2013). När det gäller spån finns hos lantbrukare som sprider denna gödsel, en rädsla för att terpenener och andra ämnen i träspånet kan skada aktiviteten i jorden. Torrsubstans (TS) -halten på gödsel/ströblandningen är cirka 30-50 %, varav det organiska innehållet (VS) är 80-90 %

av TS. Näringsinnehållet i hästgödseln varierar med storlek på häst, foderstat och aktivitet. Hästgödsel anses främst vara en kalium- och fosforkälla (Carlsson et al, 2009). En fördel med halmpellets är att den har en högre densitet än halm, vilket ger billigare transporter. Vidare sönderdelas halmen vilket ger en snabbare nedbrytning i biogasanläggningen, något som passar vid rötning av stallgödsel (Wennerberg och Dalander, 2014). Användning av halmpellets resulterar i en mindre gödselmängd jämfört med vid användning av långhalm. Också jämfört med kutterspån (Johansson och Wettberg, 2012) eller torv (vårt försök) blir resultatet med halmpellets att mindre strö mockas ut. Om en gödselplatta är lite för liten skulle det därför kunna vara en möjlighet att byta strömedel. Johansson och Wettberg (2012) visade dessutom att tidsåtgången var en minut kortare per box vid mockning i halmpellets jämfört med i kutterspån. Detta kan bero på att halmpelletsen lätt föll genom grepen vid mockning.

I häststallar förekommer ofta olika strömedel hos olika individer. Hästarna kan exempelvis ha allergier eller luftrörsproblem som styr valet av strömedel. Det är därför troligt att hästgödsel från stallar med många djur kommer att innehålla olika strömedel. För att en biogasanläggning ska kunna hantera gödsel från hästar kan det vara viktigt att endast vissa strömedel används alternativt att anläggningen har en förbehandlingsanläggning som klarar av de aktuella strömedel som används.

### 3.2 Lagring

Lagring innebär att organiskt material kan brytas ner och energi kan gå förlorad. Hur stor nedbrytningen blir beror på temperaturen i gödseln och lagringstiden. Under lagring vid max 10°C är förlusterna små (Møller, 2012). Många hästägare har problem med att lagra och transportera bort sin gödsel särskilt om man inte har mer än några få hästar. Olika system för lagring såsom på gödselplatta, i container eller direkt på marken i gödselstuka förekommer. Enligt lagen som gäller för lantbruksföretag ska lagringskapacitet finnas för lagring i 6 mån inom känsliga områden. För hästgårdar som inte är jordbruksföretag ska lagringsutrymmet åtminstone vara så stort att gödseln kan lagras under perioder och väderleksförhållanden då spridning är förbjuden eller olämplig (Jordbruksverket, 2013).

### 3.3 Transport

Viktiga faktorer som avgör transportkostnaden för hästgödsel är vikten och avståndet som gödseln ska transporteras. Olsson et al (2014) räknar med en genomsnittlig TS-halt

på 35 % men menar också att en högre TS-halt är fördelaktig ur transportsynpunkt. Ett transportavstånd på 5 mil antas utgöra en kostnad på 100 kr/ton (Olsson et al. 2014) vilket bidrar till den behandlingsavgift som måste tas ut av hästägaren.

Jordbruksföretag med mer än 10 djurenheter som tar emot eller transporterar bort stallgödsel är skyldiga att föra anteckningar om vem som levererat eller hämtat gödseln, datum, mängder samt fosforinnehåll alt. djurslag och antal djur (Jordbruksverket, 2013).

### 3.4 Kompostering

Kompostering innebär att gödseln bryts ner av syrekrävande mikroorganismer som samtidigt bildar värme, koldioxid, ammoniak och vatten. Temperaturen kan bli upp till 70°C. Komposteringen anses lyckad om gödselns vikt minskar med 30-50% vilket innebär att koncentrationen av näringsämnen ökar motsvarande (Jordbruksverket, 2013) och gödseln blir därmed billigare att transportera och lättare att sprida. Nackdelen kan vara att kväve i form av ammoniak riskerar att avgå samt att avrinning från komposten ger upphov till lakvatten som för med sig näringsämnen. Försök med kompostering av hästgödsel har visat att förlusterna av ammoniak är förhållandevis låga (Jordbruksverket, 2013) och att de vattenburna förlusterna av kväve och fosfor kunde reduceras med rätt teknik (JTI, 2003).

Nya tester med så kallad trumkompostering av hästgödsel ska ge en mer kontrollerad kompostering och minska förlusterna av ammoniak och växthusgaser i komposteringsprocessen (JTI, 2014)

### 3.5 Rötning

Hästgödsel är relativt torr och innehåller normalt stora mängder strö (torv, sågspån eller halm), detta innebär ett lågt biogasutbyte per volymenhet. Det strömaterial som används skulle kunna vara en kolkälla vid rötning av kväverika substrat. Lämplig förbehandling så att svårnedbrytbart lignin frigörs och kan bidra till metanproduktionen kan vara hackning, malning eller kompostering.

Olsson et al (2014) har genomfört rötningförsök med hästgödsel tillsammans med olika strömedel. Gödseln har provrötats dels i laboratoriemiljö och dels storskaligt på Naturbruksgymnasiet Sötåsens biogasanläggning. Provrötningarna visade att valet av strömedel hade stor betydelse vad gäller metanproduktionen per kilo organiskt material

(Volatile Solids, VS) i gödselblandningen. Metanproduktionen var högst från hästgödsel med halmpellets, ca 200 Nm<sup>3</sup> metan/ton VS, och ungefär hälften så stor från gödseln när torv eller spån hade använts som strömedel, 100 Nm<sup>3</sup>/ton VS. Dessa resultat skiljer sig delvis från detta projektets resultat, där rötning av hästgödsel med torvströ har haft en metanproduktion som motsvarar 200 Nm<sup>3</sup> metan/ton VS.

### 3.6 Hantering av hästgödsel på biogasanläggningen

För att undvika problem med sten och grus i hästgödseln, kan den blandas med ett flytande media som exempelvis rötrest i en blandningsbrunn med stenficka innan inmatning i röt-kammaren på biogasanläggningen. I blandningsbrunnen kan grus och sten sedimentera, vilket minskar risken för ansamling av material i botten på röt-kammaren.

Om hästgödsel i form av djupströgödsel ska rötas på en biogasanläggning, är en förbehandling av gödseln att rekommendera. På biogasanläggningen Brogas på Gotland har en snabbgående kross använts vid förbehandling av djupströgödsel för att minska problemen orsakad av kontaminerad gödsel. Efter att den snabbgående krossen tagits i bruk har biogasproduktionen kraftigt ökat samtidigt som problemen med sten och grus har minskat (Jansson, 2014).

Mängden hästgödsel som kan tillföras en biogasanläggning kan begränsas av dimensioneringen av omrörningen i röt-kammaren. Tillförseln av hästgödsel gör substratblandningen tjockare, vilket ökar risken för svämtäcke och stopp i rör mm. Valet av strömedel har också inverkan på hur mycket hästgödsel som kan tillföras reaktorn. Vissa strömedel, som halmpellets eller finhackad halm, bryts delvis ner och bidrar därmed till en ökad metanproduktion. Under röttningsprocessen sjunker därför halten TS i rötresten. Andra strömedel, som torv och spån, bryts inte ner i reaktorn vilket medför att halten TS inte sjunker på samma sätt under röttningsprocessen. Detta medför att mindre mängder hästgödsel kan rötas med dessa strömedel, om halten TS i röt-kammaren är begränsande. I praktiken innebär det att metanproduktionen från hästgödsel från dessa strömedel blir lägre dels för att gödseln med dessa strömedel i sig har en lägre metanpotential och dels för att den organiska belastningen i reaktorn blir lägre i o m att mindre hästgödsel kan tillföras innan halten TS blir för hög.

### 3.7 Regelverk

Om stallgödsel tas från mer än 2-3 gårdar behöver gödseln hygieniseras för att undvika risken för smittor. Hygienisering kan genomföras på flera sätt varav upphettning av materialet till 70°C är det vanligaste. En alternativ lösning är att röta vid minst 52 °C och ha en garanterad uppehållstid på minst 10 timmar och en hydraulisk uppehållstid på minst 7 dygn (Jordbruksverket, 2011).

Om gödsel hämtas på flera gårdar är det viktigt att fordonets däck inte bli kontaminerade med gödsel, så att smittor kan spridas mellan gårdarna. Vidare bör containern täckas med nät för att hindra fåglar från att sprida smittor på gården (Carlsson och Nordström, 2013).

Bestämmelserna om lagringskapacitet för hästgödsel enligt förordningen (1998:915) om miljöhänsyn i jordbruket säger att i känsliga områden måste gödseln kunna lagras i minst 6 månader (8 mån i mest känsliga områden och om mer än 10 hästar). Reglerna gäller bara för jordbruksföretag, men i praktiken kan tillsynsmyndigheten ställa krav även på övriga djurhållare med stöd av de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken (Jorbruksverket, 2013).

### 3.8 Praktiska erfarenheter på biogasanläggningen

För att hästgödseln inte ska orsaka praktiska problem i samband med rötning på en biogasanläggning bör följande beaktas:

1. Gödseln ska vara ren från kontaminering av exempelvis sten och grus.
2. Strömedlet får inte orsaka praktiska problem på anläggningen, d v s det bör inte vara långsträigt eller sedimentera snabbt i rötammaren.

Utöver dessa grundkrav blir gödseln mer attraktiv att röta om det strömedel som använts har en bra metanpotential. Rent praktiskt och transportmässigt är det bra om gödseln är så torr som möjligt, vilket annars kan medföra dyrare transporter.

Innan hästgödseln tillförs rötammaren bör den blandas upp med vätska till en pumpbar slurry. Genom detta kan eventuella stenar frigöras som kan ha kommit med i gödseln eller strömedlet. Stenarna kan sedan samlas upp exempelvis i en stenficka i botten av blandningsbrunnen. För att sedan få hästgödseln att blandas med ett flytande substrat krävs en sönderdelning och uppblandning med exempelvis en skärande pump. I försöket på Sötåsen krävdes det mellan 12 och 20 kWh el per ton hästgödsel för att skapa en bra blandning med hästgödseln.

Praktiskt i biogasanläggningen fungerade det bra med hästgödsel med halmpellets eller spån som strömedel. Vid rötning med spån som strömedel blev det ibland för tjockt med material i rötkammaren, vilket resulterade i problem med igensättning av röret mellan rötkammaren och efterrötkammaren (Olsson et al. 2014).

### 3.9 Risk för kontaminering av gödseln

En gödsel som ska rötas på en biogasanläggning ska vara så ren som möjligt från exempelvis sten, grus eller söm. Annars riskerar det att samlas mycket material på botten i blandningsbrunnen eller i rötkammaren, vilket gör att dessa måste tömmas oftare. När hästgödsel rötades på Sötåsens naturbruksgymnasium uppskattades mängden sten och grus i gödselblandningen vara ca 1 % av hästgödselns våtvikt. Att tömma blandningsbrunnar från sten mm är också kostsamt genom att det tar tid och man kan behöva anlita en spolbil (Olsson et al, 2014).

Det finns flera sätta att minska risken för kontaminering av hästgödseln:

- 1- **Sortera gödseln på gårdsnivå.** Gödsel från exempelvis hagmockning, ridhus eller material från krattning av gårdsplan ska inte rötas i en biogasanläggning p g a hög risk för kontaminering med sten och grus. Detta kan exempelvis komposteras på gårdsnivå. Endast gödsel från stall lämnas för rötning.
- 2- **Val av strömedel** påverkar också risken för kontaminering av gödseln. När halmpellets eller spån används i hästboxen följer endast mindre mängder strö med. Det är då lättare att se om det har kommit med något annat föremål jämfört med om strömedlet är långstråig halm eller torv.

## 4. Metod

### 4.1 Insamling av material

Hästgödsel hämtades från närliggande hästgårdar i Halland och hämtades direkt i stallet. Gödseln som användes i rötningsförsöken var antingen färsk eller i de försök där lagringstidens betydelse testades hade gödseln fått kompostera i hinkar i svalt och torrt utrymme upp till två månader.

I det första försöket rötades blandningar av färsk hästgödsel och svin- nöt eller hönsgödsel från närbelägna gårdar i Halland (se nedan under rubriken Genomförande).

I det andra försöket rötades hästgödsel som var färsk, lagrad (komposterad) i 5 eller 14 dagar eller tillsammans med färsk nöt eller svin gödsel (all gödsel hämtades från närbelägna gårdar). Lagring skedde i svalt (ca 10°C) och torrt utrymme (se nedan under rubriken Genomförande).

I det tredje och sista försöket testades två olika strömedel och färsk gödsel jämfördes med gödsel som komposterats i en eller två månader. Försöket innefattade också en praktisk jämförelse av hur de båda strömedlen fungerade, åtgång av dessa samt hur personer som skötte hästarna upplevde mockning och hanteringen av de båda strömedlen. Två boxar med en häst i varje ströddes från dag 1 med antingen halmpellets eller torv (Figur 1 och 2). Försöket pågick i 2 månader och gödseln från de båda boxarna lades i separata högar. Påfyllning med strö, upplevelse av damm och annat av intresse noterades regelbundet under försökets gång.

Rötresten som användes som bas i rötningsförsöken för att få tillgång till välfungerande mikroorganismer hämtades i försök 1 och 2 från Plönninges biogasanläggning utanför Halmstad. I denna rötchamber var kogödsel basen, men även substrat som vall, potatis och frukt blandades in. I försök 3 användes rötrest från Laholms biogasanläggning. Här rötas gödsel av flera olika slag, slaktavfall, matavfall samt andra restprodukter från jordbruk och industri.



Figur 1. Hästgödsel i box med strömedlet halmpellets



Figur 2. Hästgödsel i box med strömedlet torv

## 4.2 Försöksupplägg

Röttningsförsöken har skett i batchskala på labb, det vill säga småskalig satsvis rötning där inget substrat tillförs eller bortförs under försökets gång. Syftet var främst att upptäcka trender och samband i gasproduktionen vid rötning av hästgödsel av olika färskhet, med olika strömedel samt vid samrötning med andra gödselslag. Målsättningen har hela tiden varit att efterlikna en storskalig process i den mån det är möjligt i





Figur 3. Färsk (främst) och komposterad hästgödsel (1 eller 2 mån) med strömedlen halmpellets ( till vänster) och torv(till höger) inför röttningsförsöket

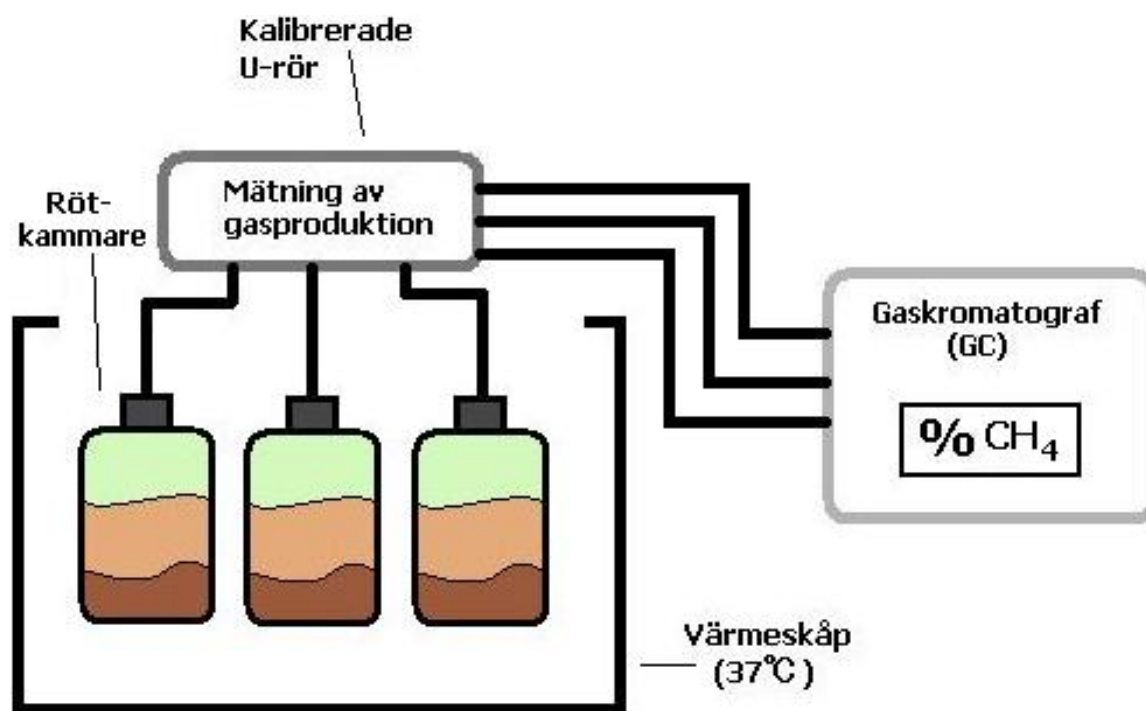
labbförsök. På grund av skillnader hos substratet, olika bakteriesamhällen, omrörning och andra faktorer kan skillnader i gasproduktion från "samma" substrat förekomma. Trenderna och sambanden är dock mer generella och beskriver mönster hos det rötade substratet vilka är användbara vid en eventuell uppskalning till större produktion i fullskala.

Totalt har tre försök utförts. Försöksupplägget för försök 1 och 2 utgick ifrån substratets våtvikt, vilket innebär att metanproduktionen redovisas i ml CH<sub>4</sub>/blandning. För försök 3 användes istället ett upplägg som baserades på substratets organiska innehåll (VS), vilket innebär att metanpotentialen kan redovisas i ml CH<sub>4</sub>/g VS. Detta upplägg utgår ifrån att mängden VS som tillsätts från rötresten skall vara dubbelt så stor som den mängd VS som tillsätts från substratet (kvot 2:1). Anledningen är att detta förhållande enligt teorin skulle ge bäst förutsättning för en stabil och effektiv rötprocess där substratets optimala metanutbyte skulle kunna uppnås. Även lägre kvoter kan fungera väl beroende på substratets karaktär (Carlsson och Schnürer, 2011). Av praktiska skäl var det inte möjligt att tillämpa en kvot högre än 0,125 i försök 3.

### 4.3 Laboratoriets utformning

Laboratoriet som använts vid rötningsförsöken är beläget på Högskolan i Halmstad. Där finns en kapacitet att samtidigt använda 32 glasflaskor á 1 liter för rötningsförsök. Flaskorna förseglas med gummikork och fungerar sedan som röt-kammare. För att hålla en konstant mesofil temperatur (37°C) placeras flaskorna i två värmeskåp under hela försöksperioden. För att mäta producerad volym gas samt metaninnehåll, anslöts glasflaskorna till U-rör med hjälp av gummikorkar och slangar. Den producerade gasen kan därmed endast ta sig ut genom U-rören. I hålet på gummikorkarna fästs en slang med epoxylim, och den går sedan från flaskan till en annan kork som sitter på ett U-rör innehållande vatten till en bestämd nivå. När biogas produceras i flaskan höjs vattenpelaren i U-röret för att slutligen nå en IR-fotoelektrod. Frigolitkulan som finns i U-rören passerade genom IR-fotoelektroden varje gång som vattennivån höjdes, vilket ledde till att data för datum, tid och producerad gasvolym registrerades i ett räkneverk. Vid detta tillfälle fås en s.k. ”bubbling” och detta registreras av räkneverket. Efter varje bubbling återgår vattennivån till startnivån igen. Dessa data hämtas vid försökets slut och kan sedan sammanställas (Figur 4).

Före försöksstart kalibreras U-rören. Då pumpas luft genom slangen in i U-rören med hjälp av en spruta. Detta görs tills man får en bubbling. Man kan då läsa av hur stor volym luft som behövdes för att uppnå bubblingen. En bubbling under försökets gång kommer alltså att producera motsvarande volym biogas. Före starten dokumenteras även data på temperatur och lufttryck. Försöken som startats övervakas dygnet runt av en webkamera som tar en bild på U-rören var 30:e min. På så vis finns möjlighet att titta på bilderna i efterhand för att kontrollera att bubblingar som registrerats verkligen har skett. Sammanställning av gasproduktionen görs med hänsyn till både de data som registrerats av räkneverket och bilderna från webkameran. Felmarginalen är därför liten. För att kunna mäta metaninnehållet i den producerade gasen fanns det på varje flaska en uttagspunkt monterad, där ett prov på gasen kan tas ut för analys. Detta genomfördes tre gånger per vecka.



Figur 4. Schematisk bild av rötförsökens utformning.

#### 4.4 Genomförande

Flaskorna fylldes med substratet och rötrest till bestämd totalmängd (Tabell 1,2,3). En flaska fylldes med endast rötrest och användes som referens under försöket. Ett visst head-space lämnades alltid i flaskorna p.g.a. av risk för överjäsning samt för att innehållet skulle kunna skakas om ordentligt. Rötprocessen övervakades varje vardag genom kontroll av gasproduktion och genom att försäkra att all elektronik fungerade så att all data blev registrerad på ett korrekt sätt. Under försökets gång skakades dessutom innehållet i flaskorna om i snitt 2 gånger per dag för att förhindra skumning, sedimentering, gasfickor etc. Gasprover togs också för att mäta metanhalten med hjälp av gaskromatografi. Gasproverna var i storleksordningen 20 µl och påverkade inte gasvolymen nämnvärt. Efter varje avslutat rötförsök sammanställdes rådata i Excel-ark.

Som tidigare nämnts har totalt tre stycken labbförsök med hästgödsel genomförts. Hästgödseln som använts har innehållit torv och halmpellets då dessa material har använts som strömedel i hästboxarna. Tre huvudsakliga fokusområden har varit att

undersöka vilken effekt samrötning, strömedel och lagringstid har haft på röttningsförloppet och därmed på biogasproduktionen och metaninnehållet i gasen.

I försök 1, med en uppehållstid på 27 dygn, undersöktes endast samrötningseffekter då hästgödsel samrötades med nöt-, svin- eller kycklinggödsel (Tabell 1).

**Tabell 1. Rötningssupplägg för försök 1. Varje blandning har rötats i tre replikat.**

	g våtvikt		
Hästgödsel	200	200	280
Nötgödsel	200		
Svinggödsel		200	
Höns gödsel			120
Rötrest	300	300	300

Försök 2, med en uppehållstid på 35 dygn, innefattade både samröttnings- och lagringstidsaspekter. Hästgödseln som användes här hade halmpellets som strömedel och var uppdelad i tre fraktioner; en som var färsk, en där gödseln lagrats i 5 dagar och en där gödseln lagrats i 14 dagar. Dessa olika fraktioner samrötades med nöt- och svinggödsel (Tabell 2).

**Tabell 2. Rötningssupplägg för försök 2. Varje blandning har rötats i tre replikat.**

	g våtvikt				
Färsk hästgödsel	150			50	50
Hästgödsel lagrad i 5 dagar		220			
Hästgödsel lagrad i 14 dagar			170		
Nötgödsel				270	
Svinggödsel					200
Rötrest	460	460	460	460	460

I försök 3 undersöktes huvudsakligen lagringstidsaspekter och effekten av strömedel (halmpellets och torv). I likhet med försök 2 användes även här tre fraktioner av hästgödsel: en som var färsk, en där gödseln lagrats i 1 månad och en där gödseln lagrats i två månader. Till skillnad från försök 2, där korta lagringstider undersöktes, tillämpades här alltså längre lagringstider på upp till 2 månader (Tabell 3)

Tabell 3. Rötningssupplägg för försök 3. Varje blandning har rötats i tre replikat.

	g våtvikt					
Färsk hästgödsel (torv)	200					
Färsk hästgödsel (halmpellets)		149				
Hästgödsel lagrad 1 mån. (torv)			50			
Hästgödsel lagrad 1 mån. (halmpellets)				50		
Hästgödsel lagrad 2 mån. (torv)					119	
Hästgödsel lagrad 2 mån. (halmpellets)						50
Rötrest	555	555	555	555	555	555

## 4.5 Analyser

För att analysera torrsubstanshalten (TS) i substraten och rötresten placerades ett uppvägt prov i en aluminiumbehållare som sedan placerades i en ugn med temperaturen 105°C i 24 timmar. Efter behållaren tagits ur ugnen räknades torrsubstansen fram genom att dividera den nya massan på substratet (allt vatten hade förångats) med massan före insättningen i ugnen. Torrsubstansmätningarna gjordes i tre replikat varefter medelvärdet användes. Det torkade materialet användes sedan vidare för att fastställa glödförlusten (VS). Vid analys av glödförlust brändes det torkade materialet i en förbränningsugn i 550°C under tre timmar. VS beräknades sedan som mängden torrsubstans minus mängden kvarvarande aska och utgjorde alltså den del av materialet som hade organiskt ursprung och därmed var nedbrytbart. Analyserna av glödförlust gjordes i två till tre replikat varefter medelvärdet användes. Analys av biogasens metaninnehåll utfördes med en gaskromatograf av märket Varian CP-3800 med varmtråsdetektor och kapillärkolonn av märket Porabond Q. Näringsämnesanalyser utfördes av det ackrediterade Agrilab AB i Uppsala.

## 5. Resultat och diskussion

### 5.1 Försök med hästgödsel

För att ta reda på vilka andra gödselslag som kan vara lämpliga att samröta hästgödsel med kan man i ett första steg jämföra TS och VS för de olika gödselslagen (Tabell 4). Svinggödsel och nötgödsel hade lägre TS (6 och 10 %) jämfört med hästgödsel (16 %) medan höngödsel hade väsentligt högre TS (28 %). För att undvika problem med omrörning och stopp i pumpar i biogasanläggningen bör TS hållas nere och därför bör hästgödsel som har ett relativt högt TS i första hand samrötas med ett substrat som har lägre TS. Lägst TS hade svinggödseln med 6 %. VS halten för häst-, svin- och nötgödsel före rötning låg mellan 81- 84 % av TS. VS halten för höngödsel var lägre med 48 % av TS. TS och VS i blandningarna före rötningen mättes aldrig i detta försök.

Efter rötningen hade blandningen mellan häst- och höngödsel den högsta TS halten med 20 % av våtvikten (Tabell 5). Svin- och hästgödselblandningen liksom nöt- och hästgödselblandningen hade efter rötningen en TS halt på endast 8 %. VS halten i % av TS efter rötningen var lägst för samrötningen av häst- och höngödsel (51 %) vilket ändå var något högre än höngödselns ursprungliga VS. VS halten efter rötning för både svin- och nötgödselblandningarna hade minskat till 74 och 77 % av TS.

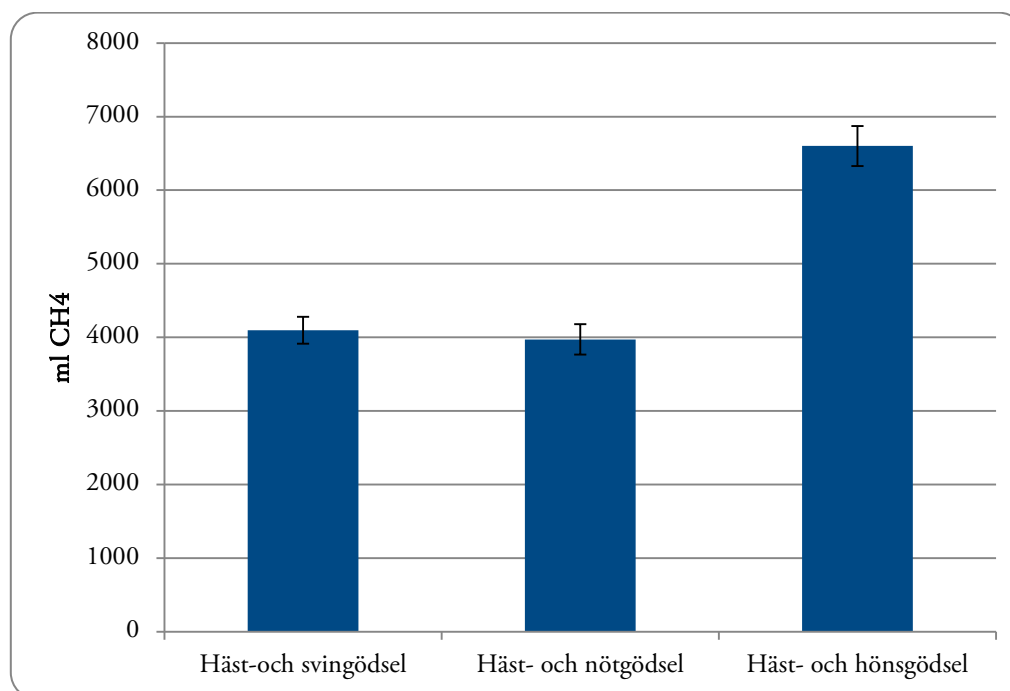
Tabell 4. Torrsubstans (TS) och glödförlust (VS) för ingående substrat i tabell 1 innan rötning.

	Före rötning	
	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)
Hästgödsel	16	83
Nötgödsel	10	84
Svinggödsel	6	81
Höngödsel	28	48
Rötrest	3	68

Tabell 5. Torrsubstans (TS) och glödförlust (VS) för blandningar av substraten i tabell 4.

	Efter rötning	
	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)
Häst-och svinggödsel	8	74
Häst- och nötgödsel	8	77
Häst- och höngödsel	20	51
Rötrest	2	57

Den totala metanproduktionen för de tre blandningarna uppvisade likartad produktion för svin- och nötgödselblandningarna medan hönsködselblandningen visade en betydligt högre produktion (Figur 9) trots att mängden hästgödsel i förhållande till hönsködsel var högre för denna blandning (Tabell 1). Den ackumulerande metanproduktionen per kg VS ger ett mått på total mängd metan som producerats vid rötning och är detsamma som substratets metanpotential (Carlsson och Shnürer, 2011). Samrötningarna där hästgödsel ingick hade relativt låg metanpotential med 95 ml metan/g VS för häst+svin, 82 ml metan/g VS för nöt+häst och 114 ml metan/g VS för häst+höns. Materialet var i huvudsak utrotat efter ca 20 dagar (hönsködselblandningen tog något längre tid) och pH värdet i rötresten låg mellan 7,8 och 8,3. Det lägre pH värdet erhöles i blandningen med svingködsel vilket kan vara av betydelse eftersom ett lägre pH värde kan minska risken för ammoniakemission.



Figur 9. Total metanproduktion för försök 1. Medelvärde och standardavvikelse av 3 rötningar.

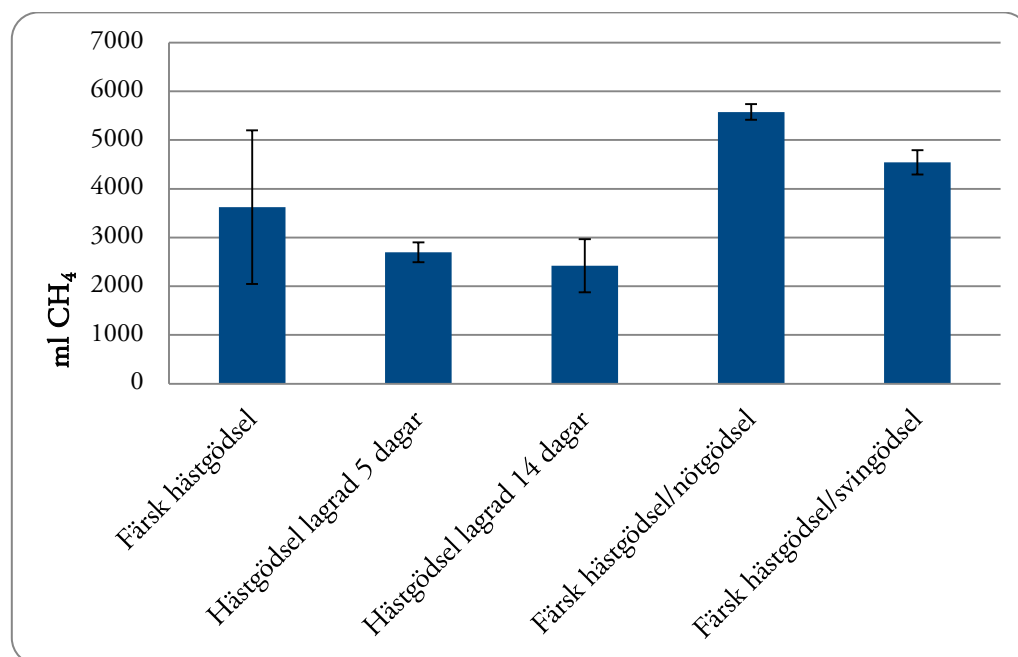
I försök 2 var TS -halterna relativt låga redan före rötningen (5 och 6 % för respektive nöt- och svingködselblandning) och föll sedan ytterligare ner till 2 % för svingködselblandningen (Tabell 6). Både TS och VS halterna efter rötning var lägre för hästködselblandningarna med nöt och svingködsel jämfört med det tidigare försöket (Tabell 5) vilket kan ha berott på den mindre mängden hästködsel som tillsattes i detta

försök. Lagring av hästgödsel i 5 till 14 dagar påverkade inte TS och VS halterna i någon tydlig riktning.

Tabell 6. Torrsubstans (TS) och glödförlust (VS) för blandningarna i tabell 2, före respektive efter rötning. Medelvärde av 2 till 3 blandningar av varje slag.

	Före rötning		Efter rötning	
	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)
Färsk hästgödsel	6	75	7	67
Hästgödsel lagrad 5 dagar	4	66	8	67
Hästgödsel lagrad 14 dagar	7	76	8	70
Färsk hästgödsel/nötgödsel	5	76	5	75
Färsk hästgödsel/svingödsel	6	79	2	68
Rötrest	3	67	2	58

Lagringen(komposteringen) i 5 eller 14 dagar hade en tydligt negativ inverkan på den totala metanproduktionen (Fig. 10). Den totala metanproduktionen minskade med ca 1/3. Till skillnad från det tidigare försöket (Fig. 9) är det i detta försök betydligt större total metanproduktion i blandningen mellan häst- och nötgödsel jämfört med häst- och svingödsel. En förklaring till detta kan ha varit att häst- och svingödselblandningen hade en långsammare start och lägre metanhalt i gasen under de första 2 veckorna men producerade sedan mer metan under följande veckor. Någon inhiberande faktor kan ha orsakat denna långsamma start.



Figur 10. Total metanproduktion för försök 2. Medelvärde och standardavvikelse från 3 rötningar.



Kväveinnehållet (både organiskt och oorganiskt) steg i den lagrade hästgödseln (Tabell 7) även om det finns en del osäkerhet i siffrorna. Kol-kväveknoten minskade med lagring som förväntat eftersom kolinnehållet minskade.

Tabell 7. Näringsinnehåll i den hästgödseln som använts under försök 2.

	Färsk hästgödsel	Hästgödsel lagrad 5 dagar	Hästgödsel lagrad 14 dagar
Torrsubstans, TS (% av våtvikt)	27,1	20,2	25
Tot-kväve (kg/ton)	5,0	6,3	7,3
Organiskt kväve (kg/ton)	4,6	3,7	6,1
Ammoniumkväve(kg/ton)	0,5	2,6	1,2
Tot-kol (kg/ton)	113,0	78,0	101
Kol-kväveknot, C/N	22,6	12,5	13,9
Tot-fosfor (kg/ton)	1,4	0,4	0,51
Tot-kalium(kg/ton)	4,3	9,3	9,3
Tot-magnesium(kg/ton)	1,3	1,1	1,22
Tot-kalcium(kg/ton)	3,4	5,2	5,4
Tot-natrium (kg/ton)	0,5	1,0	1,06
Tot-svavel(kg/ton)	0,5	0,6	0,84

I projektets tredje försök undersöktes förutom metanpotentialen med olika strömedel och lagringstider även hur valet av strömedel påverkade stallmiljön samt arbetssituationen för de som arbetar i stallet. De strömedel som undersöktes var torv och halmpellets. De praktiska erfarenheterna från hanteringen av olika strömedel är sammanfattade i Tabell 8.

Tabell 8. Praktiska erfarenheter av användning av torv och halmpellets i häststall.

	<b>Halmpellets</b>	<b>Torv</b>
<b>Hantering</b>	Levererades i 6 säckar som var enkla att hantera	Leverades som 2 balar som var tunga och otympliga att hantera.
<b>Mockning</b>	”Lätt att mocka redan från början. Efter en vecka hade pelletsen sönderdelats, vilket gjorde att urinen absorberades bättre.”	”Det var ovant i början, men man vande sig. Svårt att se vad som var gödsel och vad som var torvklumpar. Det följde lätt med extra torv vid mockningen.”
<b>Bäddens egenskaper</b>	Från början var pelletsen hård och lite hal. Efter en vecka hade pelletsen smulats sönder och bildade en mjuk bädd för hästen att stå på.	Torven packas lätt ihop och vid varje mockning måste man luckra upp bädden. Bra uppsugningsförmåga och det syns svarta fläckar där hästen har kissat.
<b>Stallmiljö</b>	Det dammade inte så mycket och det var lätt för hästarna att hitta och äta allt hö som fallit ner från foderkorgen.	Ingen ammoniakdoft (bra) men däremot en jordlukt som inte kändes fräsch. Det var svårare för hästarna att hitta allt hö (mer spill). Det dammade mer och på boxväggarna bildades ett mörkt skikt vilket gjorde att det såg smutsigare ut.

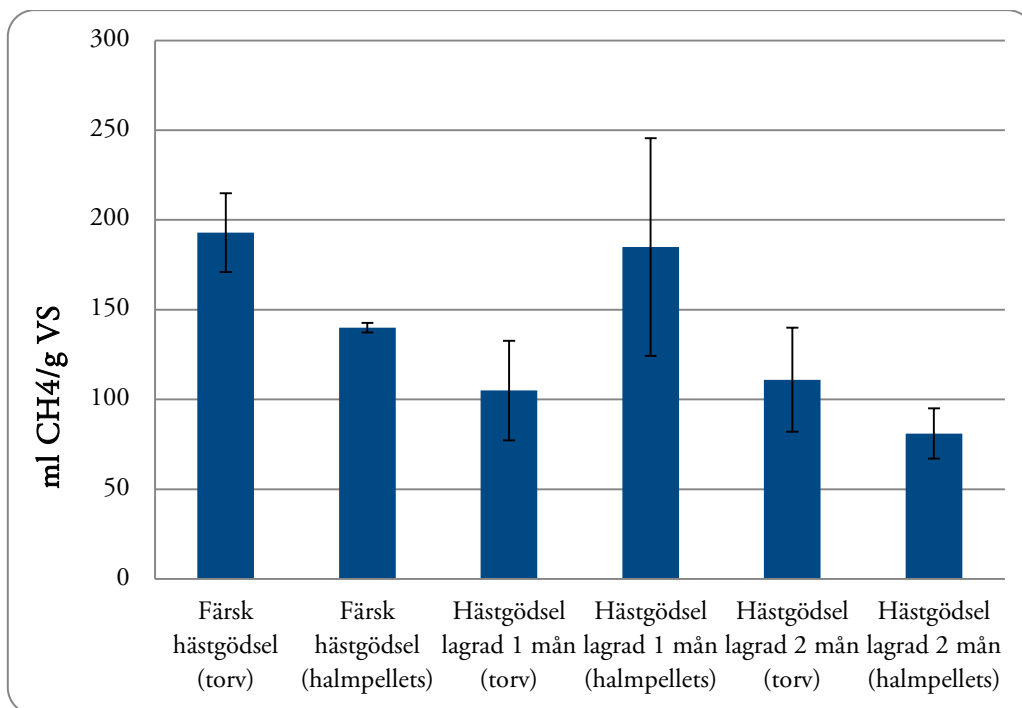
En fördel med att använda halmpellets var att det var lättare att mocka och mindre strömedel följde med jämfört med när torv användes som strömedel. På naturbruksgymnasiet Plönninge i Halland har också de praktiska effekterna av att använda halmpellets istället för långhalm undersökts. Erfarenheterna från Plönninge var att mängden gödsel och strömedel som mockades ut halverades när de bytte ut långhalm mot halmpellets (Hollman, 2012). I ett examensarbete av Johansson och Wettberg (2013) uppmättes också en signifikant lägre gödselmängd från boxar där halmpellets användes istället för kutterspån.

Efter rötningen minskar både TS och VS i blandningarna som sig bör men det syns också en tendens till att TS minskar och VS ökar med längre lagringstid.

**Tabell 9. Torrsubstans (TS) och glödförlust (VS) för blandningarna i tabell 3, före respektive efter rötning**

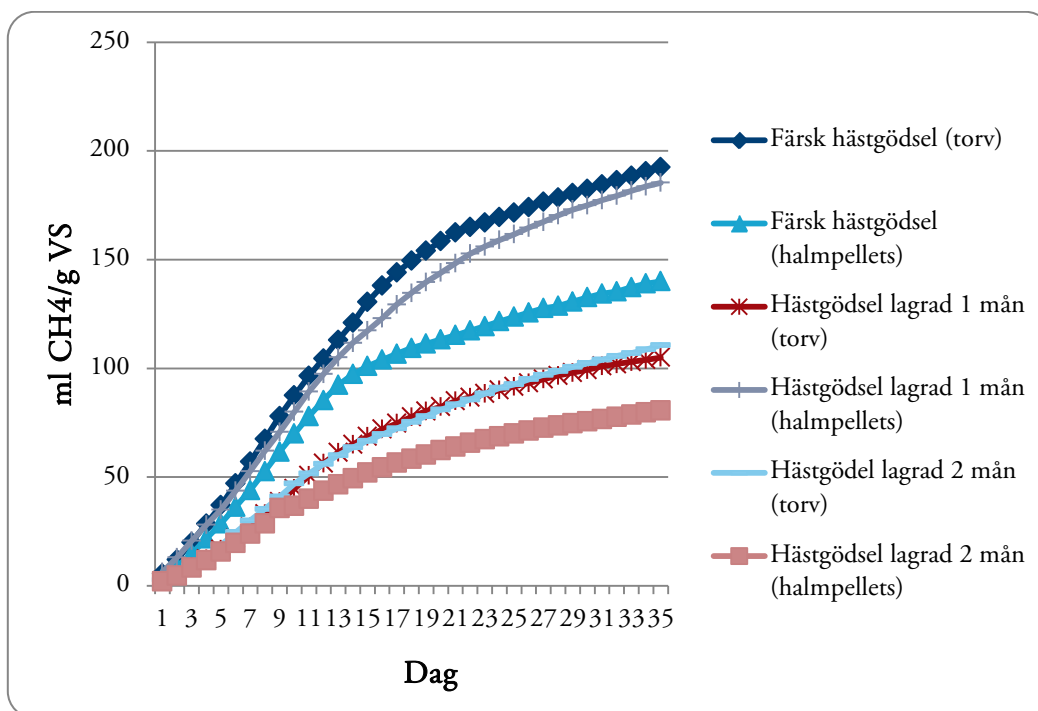
	Före rötning		Efter rötning	
	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)	TS ( % av våtvikt)	VS ( % av TS)
Torv/hästgödsel (färsk)	10	80	6	71
Halmpellets/hästgödsel (färsk)	9	76	6	68
Torv/hästgödsel (1 månads lagring)	8	81	4	71
Halmpellets/hästgödsel (1 månads lagring)	9	83	9	73
Torv/hästgödsel (2 månaders lagring)	8	84	5	76
Halmpellets/hästgödsel (2 månaders lagring)	9	82	3	68
Rötrest	2	58	2	55

Själva rötningen visade att färsk hästgödsel kan rötas med en högre metanproduktion per g VS med torv som strömedel än med halmpellets som strömedel (Figur 11). Lagring i en månad visade sig däremot vara positivt vad gäller metanproduktion för gödsel med halmpellets medan torv-gödseln minskade i produktion. Metanproduktionen per g VS vilket också visar substratets metanpotential minskade drastiskt med lagring/kompostering i 2 månader också i gödselproven med halmpellets som strömedel (Figur 11). Torv som strömedel behöll en något högre metanproduktion efter 2 mån lagring/kompostering.



Figur 11. Total metanproduktion per g VS från försök 3 Medelvärde och standardavvikelse av tre rötningar (utom för färsk hästgödsel, torv där endast två rötningar gav resultat).

Akkumulerad metanproduktion över hela röttningsperioden (35 dagar) visade att endast den färska gödseln med torv och den 1 mån lagrade gödseln med halmpellets upprätthöll en hög produktion efter dag 12 då övriga kurvor avtog i produktion (Figur 12).



Figur 12. Akkumulerad metanproduktion från försök 3. Medelvärden för 3 rötningar (utom för färsk torv där endast två rötningar gav resultat).

Kväveinnehållet (både organiskt och oorganiskt) var högre i färsk hästgödsel med halmpellets jämfört med hästgödsel med torv (Tabell 10). Torvgödseln hade högre kolinnehåll och därmed högre kol-kväveknot medan övriga näringsämnen visade likartat innehåll.

Tabell 10. Näringsinnehåll i den färska hästgödsel som använts under försök 3.

	Torv/hästgödsel (färsk)	Halmpellets/hästgödsel (färsk)
TS (% av våtvikt)	24,9	24,4
Tot-kväve (kg/ton)	5,8	6,4
Organiskt kväve (kg/ton)	5,5	5,7
Ammoniumkväve (kg/ton)	0,4	0,7
Tot-kol (kg/ton)	116,4	93,4
Kol-kväveknot, C/N	19,9	14,5
Tot-fosfor (kg/ton)	1,8	1,6
Tot-kalium (kg/ton)	3,0	2,6
Tot-magnesium (kg/ton)	1,0	0,9
Tot-kalcium (kg/ton)	1,6	1,4
Tot-natrium (kg/ton)	1,0	0,6
Tot-svavel (kg/ton)	0,6	0,6

## 5.2 Ekonomi

### 5.2.1 Värdet i hästgödsel

Hästgödselns värde baseras på hur mycket energi man kan förväntas få från den genom rötning, samt gödselns innehåll av växtnäring, främst fosfor och kalium.

Wennerberg och Dahlander (2014) beräknade energivärdet i en hästgödsel med halmpellets till 76 kr/ton våtvikt under förutsättningarna att den rötas i en biogasanläggning, gödselns metanpotential var  $200 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$ , 75 % utröttningsgrad, 35 % verkningsgrad i elgeneratorn samt att elpriset var 60 öre/kWh. Utöver gödselns energivärde bör även dess näringsinnehåll värderas.

Enligt Jordbruksverket (2014) innehåller hästgödsel ca 1,5 kg fosfor (P) och 10 kg kalium (K) per ton gödsel samt ca 50 kg totalkväve varav ca 90 % är organiskt bundet. För att inte överskatta växtnäringsvärdet värderas i denna beräkning endast gödselns innehåll av fosfor och kalium. Hästgödseln kommer även att ha en kväveeffekt, men det är oklart hur

stor den är eftersom mycket av kvävet i hästgödsel är organiskt bundet och förlusterna från ammoniumkvävet i den rötade gödseln kan vara betydande.

Växtnäringen värderas enligt marknadspriset, vilket i januari 2015 var ca 20 kr/kg fosfor och 7 kr/kg kalium (Blackert, 2015) och detta ger ett näringsvärde på 100 kr/ton hästgödsel. Eftersom det är sällan en lantbrukare har full nytta av all fosfor eller kalium i biogödseln enligt de proportioner som ges, sätts gödselns värde ned till halva värdet: 50 kr/ton.

Med dessa förutsättningar har en hästgödsel med halmpellets ett sammantaget energi- och växtnäringsvärde på  $76+50=126$  kr/ton. Kostnaderna för transport av orötad gödsel och lagring samt spridning av den rötade gödseln minskar dess värde (Tabell 11).

Olsson et al (2014) beräknade värdet av en hästgödsel levererad till biogasanläggningen till 300 kr/ton för hästgödsel med halmpellets eller långhalm. I deras exempel värderas innehållet av fosfor och kalium fullt ut samt även delar av kvävet. En hästgödsel med spån eller torv beräknades endast ha drygt en tredjedel av värdet, eftersom strömedlet inte bidrog till biogasproduktionen.

**Flera beräkningar visar således att hästgödsel med halmpellets har ett värde motsvarande ca 126 till 300 kronor per ton**, beroende på hur näringen värderas. För att hästägarna ska få del av detta värde gäller att de levererar en ren gödsel och att transportkostnaderna hålls nere.

### 5.3 Transport av hästgödsel från gård till biogasanläggning

Val av strömedel påverkar hur mycket rent strömedel som mockas ut och därmed den totala gödselvolymen. Praktiska erfarenheter visar att mängden rent strö som mockas ut minskar kraftigt när halmpellets ersätter långhalm. På Plönninge Naturbruksgymnasium halverades gödselmängden när halmpellets ersatte långhalm (Hollman, 2012). Johansson och Wettberg (2013) uppmätte att gödselmängden minskade i genomsnitt med ca 30 % när halmpellets ersatte kutterspån. Transportkostnaderna bör således kunna minska med (minst) 30 % genom att använda halmpellets framför långhalm eller kutterspån.

Resultaten från projektets provrötningsförsök visar att det är bra med en färsk gödsel som inte har hunnit ”brinna” eller mögla, se figur 12. Att hämta gödseln ofta är ett sätt att minska risken för energiförluster under lagring. Samtidigt är det viktigt att minimera

transportkostnaderna genom att alltid ha fulla lass. Att hämta gödseln ca en gång per månad kan i praktiken vara en rimlig kompromiss mellan hämtningsfrekvens och nedbrytning av gödseln.

Inför transport till biogasanläggningen behöver gödseln lastas i en container. Antingen fylls containern av stallpersonalen på gårdsnivå och byts sedan efter en månad till en tom i ett s.k. växelflaxsystem. Alternativt fylls en gödselplatta eller container på gården, som sedan töms med hjälp av en traktor med lastare i samband med att denna sedan transporterar gödseln till biogasanläggningen.

Fördelen med att transportera hästgödsel med traktor och vagn framför lastbil, är att traktorn kan vara till hjälp vid lastning av gödseln om hästgården lagrar gödseln på en gödselplatta eller i en stationär container. Vidare är det lättare att komma till med en traktor med vagn jämfört med en lastbil. Prismässigt kan det vara fördelaktigt att köra med traktor om det finns växtodlingsföretag i närområdet som vill extraknäcka året runt genom att köra gödsel några timmar per vecka. Generellt sett anses annars transport med lastbil vara billigare när gödseln väl är lastad och ska köras längre sträckor.

Det finns olika storlekar på containrar. En vanlig storlek rymmer ca 30-35 m<sup>3</sup>. Enligt Jordbruksverket (2014) producerar en häst ca 0,83 m<sup>3</sup> gödsel per månad. Volymvikten för gödseln varierar troligtvis beroende på strömedel, med lägst densitet för okomposterad gödsel med långhalm och högre för gödsel med spån eller pellets som strömedel. För att volymmässigt fylla en container om 30-35 m<sup>3</sup> på en månad behövs gödsel från ca 30-40 hästar. Det är dock möjligt att ekipagets totalvikt begränsar, snarare än containerns volym.

Om ett hästföretag har färre än 30-40 hästar, kan flera grannar samarbeta för att tillsammans fylla en container vid samma körning, förutsatt att inte gödseltransporten blir för lång och följaktligen dyr. Inför ett eventuellt samarbete är det lämpligt att diskutera kvalitetsaspekter för gödseln, såsom renhet och val av strömedel. Det är också bra att bestämma vad som händer utifall att något företag slarvar med gödselhanteringen och lämnar gödsel med skräp i och som sedan biogasanläggningen klagat på.

### 5.3.1 Exempel

I detta exempel antar vi en gård med 15 hästar med långhalm som strömedel. Hästarna beräknas producera ca 9 ton gödsel (inklusive strö) per år vilket motsvarar 15-20 m<sup>3</sup> okomposterad djupströgödsel. Hästgården ligger 30 km från en biogasanläggning som har teknik för att hantera fastgödsel. Det finns ingen annan hästgård i närheten att samarbeta med.

I dagsläget har företaget en kostnad för att ”bli av med” gödseln på 1646 kr/häst och år vilket motsvarar den genomsnittliga kostnaden för en hästföretagare i Göteborgsregionen (Wennerberg och Dahlander, 2013). Det motsvarar en kostnad på ca 183 kr/ton om vid en gödselproduktion på ca 9 ton/år. På ett helår blir det en kostnad på ca 25 000 kr.

Genom att byta strömedel från långhalm eller kutterspån minskar den totala gödselmängden genom att mindre rent strö följer med gödseln vid mockning. I detta exempel antas den totala gödselmängden minska med 30%, från 9 ton/häst till 6,3 ton/häst och år.

En hästgödsel baserad på halmpellets är en tillgång för en biogasanläggning och har ett värde på ca 125-300 kr/ton minus kostnader för transport av gödseln till och från anläggningen, lagring av rötresten, spridning av den rötade gödseln och markpackningsskador. Dessa kostnader uppskattas i detta exempel till ca 204 kr/ton (Tabell 11). Hästgödselns värde är efter dessa kostnader mellan -79 och 96 kr/ton beroende på hur biogasanläggningen värderar den rötade gödseln. I detta exempel används det lägsta värdet, vilket medför en behandlingsavgift på 79 kr/ton.



Tabell 11. Ungefärliga kostnader för hantering av hästgödsel från gård, till biogasanläggning och spridning på åkermark.

	Kostnad, kr/ton
Intransport av gödsel med lastbil, 1,5 kr/ton i 60 km +19 kr/ton i lastning/lossningskostnad = 109 kr/ton (Olsson et al, 2014)	109 kr/ton
Ev transport av rötrest till annan gård	ca 25 kr/ton
Lagring av rötrest(lagun)	ca 15 kr/ton
Spridning i fält inkl. kostnader för markpackning	ca 35 kr/ton
Div omkostnader för underhåll, extra dokumentation mm	ca 20 kr/ton
<b>Summa kostnader</b>	<b>204 kr/ton</b>

Tabell 12 Beräknad kostnad för ett hästföretag med 15 hästar med långhalm respektive halmpellets

	Kostnad	
	Långhalm/kutterspån, till kompostering	Halmpellets, till biogas
Gödselmängd (antagit -30% gödselmängd för halmpellets)	9 ton/häst och år	ca 6,3 ton/häst och år
Avgift per ton gödsel <sup>b</sup> för att företag tar hand om gödseln	183 kr/ton <sup>a</sup>	ca 80 kr/ton
<b>Total kostnad</b>	<b>24 705 kr</b>	<b>7 560 kr</b>

<sup>a</sup> Genomsnittligt värde i Göteborgsregionen enligt Wennerberg och Dahlander, 2013.

<sup>b</sup> Beror på transportavstånd, här antagit en kostnad för 60 km t o r + last

Genom att röta hästgödseln finns möjlighet att ta tillvara delar av dess innehåll av både växtnäring och kol. Detta gör att behandlingsavgiften borde bli betydligt lägre än att lämna gödseln för exempelvis kompostering. Beräkningarna i exemplet visar att under vissa förutsättningar bör avgiften kraftigt kunna sänkas.

Att byta strömedel från långhalm eller kutterspån ger dock ökade kostnader för strömedel. Hur stor denna kostnad är beror självfallet på priset på pelletsen, men även hur mycket strö som används. Praktiska erfarenheter visar att det är lätt att strö för mycket av estetiska skäl (Johansson och Wettberg, 2013).

## 6. Slutsatser

Den intressanta frågan för hästnäringen och hästägare är om hästgödseln ska ses som en resurs och ett möjligt substrat i biogasproduktion eller som ett avfall som det gäller att göra sig kvitt på bästa sätt. Flera studier har genomförts för att besvara denna fråga och olika författare förespråkar olika modeller för att uppnå lönsamhet. Olsson et al (2014) förespråkar samrötning av hästgödsel med flytgödsel och menar att lönsamhet kan uppnås i detta system samtidigt som växtnäringskretsloppen sluts och mer biogas blir producerad. Wennerberg och Dalander (2013) menar att torrötning är bästa metoden för att röta hästgödsel men menar också att lönsamhet kan uppnås med effektivare affärsmodeller och bättre hanteringssystem. Våra egna beräkningar tyder på att även mindre hästhållare med rätt strömedel och hantering som t ex att gå samman om transporter och leverera hästgödsel till en samröttningsanläggning kan bli lönsamt jämfört med andra sätt att göra sig av med gödseln.

Den andra frågan som ofta nämns är vilket strömedel som ska användas i boxen om gödseln ska kunna utnyttjas optimalt. Tidigare studier har här visat att halmbaserad hästgödsel fungerar bra som substrat för biogas produktion (Mönch-Tegeder et al 2013).

Olsson et al (2014) förespråkar också halm och särskilt halmpellets som ett lätthanterligt strömedel som också innehåller mindre föroreningar och dessutom har ekonomiska fördelar. Till skillnad från deras resultat uppvisar våra utröttningsförsök att färsk gödsel med torv som strömedel har en väl så god metanpotential jämfört med halmpellets (Figur 11). Det troliga är dock inte att färsk gödsel är det vanliga alternativet ur

logistiksynpunkt. Gödseln kommer enligt det system vi föreslår att lagras under ca en månad för att sedan samlas in och transporteras till biogasanläggningen. Våra utrotningsförsök visar att en månad gammal hästgödsel med halmpellets har ökat sin metanpotential medan hästgödseln med torv har minskat sin metanpotential (Figur 11) vilket resulterar i att halmpellets framstår som det bästa valet av strömedel även utifrån våra försök. Längre lagringstid (2 mån) visade sig i våra försök vara negativt för båda strömedlen. Lagringens inverkan på metanproduktionen visade sig variera med både strömedlet och längden på lagringen. I vårt tidigare försök med en kortare lagring av hästgödsel med halmpellets som strömedel var upp till 14 dagars lagringstid negativ för metanproduktionen (Figur 10). Också i en tysk studie visade sig lagring vara negativt för metanproduktionen (Mönch-Tegeder et al 2013). Denna studie framhåller också lagringens betydelse för den ekonomiska lönsamheten. Lång lagringstid bör undvikas om man vill förhindra att lättnedbrytbara komponenter går förlorade medan en lagringstid som frigör en del svårnedbrytbart lignin ur halmen kan vara positivt. Detta skulle kunna vara förklaringen till våra delvis motstridiga resultat (Figur 10 och 11). Här behövs det mer forskning som jämför olika system.

På frågan om vilka substrat som skulle kunna vara lämpliga att komplettera hästgödseln med för att uppnå en optimal rötningsprocess och därigenom undvika näringsbrist för mikroorganismerna i processen ser vi möjligheter för både nöt- och svingödsel som samrötningssubstrat. I det första försöket gav blandningen mellan häst- och hönsödsel den högsta metanproduktionen men eftersom båda dessa gödselslag har hög TS halt kommer inte detta alternativ att bli det mest optimala i en våtröttningsanläggning. Bättre är då att blanda hästgödseln med en mer flytande nöt- eller svingödsel för att på så sätt få ut mer gas från samma röt-kammarvolym. Detta resonemang fördes i rapporten från Sötåsen (Olsson et al. 2014) där en gård som rötar flytgödsel från ca 70 mjölkkor bedömdes kunna ta emot också hästgödsel från ca 70-100 hästar i befintlig röt-kammare. Annars anses ofta svingödsel vara ett bättre samrötningssubstrat för hästgödsel eftersom den innehåller mer kväve som kan kompensera för det relativt låga kväveinnehållet i hästgödseln (Jordbruksverket, 2013). Ett av våra röttningsförsök (Figur 10) uppvisade dock en inhibering i starten av försöket med häst- och svingödsel vilken kan tyda på att kombinationen inte var optimal. Det behövs fler studier och provrötningar för att fastställa detta förhållande.

Från vårt räkneexempel kan vi dra slutsatsen att det kan vara lönsamt att ersätta långhalm med halmpellets, dels för att gödselmängden minskar med ca 30 % (vilket påverkar transportkostnaden) och dels för att halmpellets ger en bra metanproduktion.

Biogasrötning av hästgödsel utnyttjar energivärde och näringsinnehåll och leder därför i allmänhet till att behandlingsavgiften kan minskas radikalt, i vårt exempel med 70 %.

Näringsinnehållet i biogödseln efter rötning av hästgödsel värderas främst för sitt innehåll av fosfor och kalium men även en del kväve blir genom rötningen mer tillgängligt för växterna. Värdet är svårt att bedöma och beror på vilka andra substrat som rötas tillsammans med hästgödseln. Biogödselns värde borde p g av de förbättrade egenskaper som rötresten får vara högre än den orötade gödselns värde. Därför borde det uppskattade värdet på ca 50 kr/ton som vi anger för tillförd hästgödsel eller som Olsson et al (2014) har värderat till 86 kr/ton vara en underskattning. Den växtnäring som tillförs via hästgödseln kan utnyttjas på olika sätt. Den kan ersätta konstgödsel eller användas i ekologisk produktion för att erhålla högre skörd men kan också ha en allmänt jordförbättrande inverkan.

De positiva effekter som biogasrötning av hästgödsel kan ha på miljön innefattar

- Produktion av ett förnybart bränsle som ersätter ett fossilt bränsle. I synnerhet efter uppgradering av gasen till fordonsbränslekvalitet erhålls en stor klimatnytta.
- Minskad metanemission från gödselstackar och spridning av orötad gödsel på åkern. Vinsten blir som störst om gödseln rötas färsk och om rötresten förvaras i täckt rötrestlager.
- Minskad lustgasemission eftersom rötad gödsel innehåller mer växttillgängligt kväve som inte riskerar omvandlas till lustgas i marken. Lustgas bildas främst under perioder när marken inte är beväxt samt vid låg syretillgång.
- Minskat kväveläckage från nedbrytning av gödsel vid tidpunkter då inga växter kan ta upp kvävet som frigörs. Risken att förluster sker via ytavrinning minimeras om biogödseln brukas ner snabbt.
- Bättre kretsloppstänkande i lantbruket innebär att växtnäring från restprodukter som gödsel tas till vara och sprids på åkern så att den bidrar till nästa skörd. Särskilt i den ekologiska produktionen borde ett minskat behov av annan gödning och ett bidrag till markens bördighet vara av stor betydelse.

Sammantaget borde fördelarna med att utnyttja hästgödsel för biogasproduktion resultera i att system för hantering, transport och logistik byggs upp och kommer till nytta både för hästägare och biogasproducenter.

## 7. Referenser

- Averfalk, H. Hansson, A. Karlsson, N. Werner S. Mattsson, M. 2014. Klimatgaser i Halland – en målinriktad analys med framtidsperspektiv. Rapport Klimatmiljonen <http://hh.diva-portal.org>.
- Berglund och Falkhaven 2011. Hästsektorns klimatpåverkan. Hushållningsällskapet Halland.
- Carlsson, M. Uldal, M. Substrathandbok för biogasproduktion. Svenskt Gastekniskt Center , Rapport SGC 2009.
- Carlsson, B. och Nordström, A. 2013 Handbok vid hantering av substrat och rötrest vid biogasanläggningar. Hushållningssällskapet Skaraborg.
- Carlsson, M och Shnürer, A. (2011): Handbok metanpotential. Rapport SGC 237, Svenskt gastekniskt center, SGC.
- Hollman, L. 2012. Halmpellets i boxen ger biogas och gödsel. Region Halland.
- Johansson, I och Wettberg. 2013. Jämförelse mellan halmpellets och kutterspån som strömedel. Examensarbete K: 16. Hippologenheten, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Jordbruksverket, Hästgödsel - en naturlig resurs. Jordsbruksinformation 5. 2013
- Jordbruksverket, 2014.  
<http://www.jordbruksverket.se/pressochmedia/nyheter/nyheter2014/godselgasstodetkano.ppnasihost.5.1b8a384c144437186eaf930.html>
- Jordbruksverket, 2011. Rötning av animaliska biprodukter.  
<http://www.jordbruksverket.se/download/18.6f9b86741329df6fab48000334/Information+r%C3%B6tning+abp+110921.pdf> (2014-11-12)
- JTI, 2003. Strängkompostering av hästgödsel. Rapport R313.
- JTI, 2014. Kontrollerad kompostering kan ge mindre klimatpåverkan.  
[http://www.jti.se/index.php?page=forskning\\_pagar\\_kompostering\\_lr](http://www.jti.se/index.php?page=forskning_pagar_kompostering_lr)
- Karlsson, E. och Strömberg, S. 2011. Utvärdering av Plönninge gårdsbiogasanläggning. Bioprocess Control Sweden AB.
- Kusch S. Oechsner H. and Jungbluth T. 2008. Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems. Bioresource technology 99: 1280-1292
- Linné M, Björnsson L, Lantz B. 2008. Den Svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. Rapport Avfall Sverige.
- Mönch-Tegeder, M., A. Lemmer, H. Oechsner, and T. Jungbluth. 2013. Investigation of the methane potential of horse manure. Agric Eng Int: CIGR Journal, 15(2): 161 – 172.
- Møller, H.B. 2012. Nye foderstrategier giver mere biogas. FiB nr 42. December 2012  
[http://www.bioprocess.dk/PDF/FiB\\_42-2012.03.pdf](http://www.bioprocess.dk/PDF/FiB_42-2012.03.pdf)
- Naturvårdsverket 2013. Hållbar återföring av fosfor. Naturvårdsverkets rapportserie 6580.

Olsson, H et al. 2014. Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel –Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen. JTI-rapport, Kretslopp och Avfall 51, Institutet för jordbruk och miljöteknik, Uppsala.

Sandberg, A. Linné, M. Fransson, M. Hjort, A. och Jansson, L-E. 2012. Underlag för regional biogasstrategi i Halland. Biomil AB och Triventus Consulting AB.

SCB, Jordbruksstatistisk årsbok. 2013

Wartell B.A, Krumins V. Alt J. Kang K. Schwab B J. and Fennel D. E. 2012. Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding. Bioresource technology 112: 42-50

Wennerberg P. och Dahlander C. 2013. Hästgödsel som en resurs – En förstudie om olika hanteringskedjor för hästgödsel. Rapport Tecnofarm

Wennerberg P och Dahlander C. 2014. Halmpelletsens möjligheter att öka värdet och biogasutbytet i fastgödsel. Agroväst Markvård. Rapport 1. Tecnofarm.

### **Personlig kommunikation**

Carl Blackert, 2015. Växtodlingsrådgivare på Växa Sverige, Tel 010-471 03 13

Lars Hollman, 2012. Biogasansvarig på Plönninge Biogasanläggning fram till 2013.

Lars-Erik Jansson, 2014. Energi och affärsutveckling. Tel 070-24 750 79