

## *Ammoniakförbehandling av halm och våtmarks massa för biogasproduktion*

Projektet startade sommaren 2013 och har bestått av flera olika moment där många aktörer har varit inblandade. Författarna vill därför tacka alla personer som engagerat sig i projektet. Tack till projektgruppen, bestående av Guido Zacchi (LTH), Sven-Erik Svensson (SLU), Tore Sigurdsson (Kristianstad biogasanläggning) och Tobias Persson (SGC) för värdefulla diskussioner och synpunkter. Tack till Peter och Torbjörn Strid (Maglasäte gård), Claes-Eric Claesson (Jordberga gård) och Torbjörn Paulsson (Agronor Halm AB) som har bidragit med både material till försök och praktiska erfarenheter. Sist men inte minst, ett stort tack till Länsstyrelsen Skåne och Stiftelsen lantbruksforskning för finansiering av projektet.

I denna rapport har endast de viktigaste delarna av projektet rymts. En längre rapport finns att läsa på BioMils hemsida.

Maj 2015

Författarna

### *Bakgrund*

De gröna näringarnas verksamheter har en direkt påverkan på samhälle och miljö, men påverkar även indirekt landets produktion, sysselsättning och ekonomi samt till att uppnå regionala och nationella miljömål. Tendensen i det svenska lantbruket är markant – allt fler gårdar avvecklas i takt med att lönsamheten minskar. Genom projektet ville vi bidra till att utveckla landsbygden genom att ge lantbruket och lantbruksnäringarna ökade möjligheter att producera biogas från lantbrukets restprodukter i egna gårdsbiogasanläggningar alternativt kunna sälja ett lättomsatt biogassubstrat till biogasanläggningar. Användning av restprodukter från lantbruket som biogassubstrat skulle både utveckla samt förbättra de ekonomiska förutsättningarna för lantbruksnäringen.

Den totala biogaspotentialen från halm har bedömts till cirka 5,8 TWh, vilket motsvarar cirka 50 % av den totala potentialen från lantbruket (Linné m.fl. 2008). Halm svarar därför för en betydande del av biogaspotentialen från lantbruket. Utan förbehandling är halm en relativt svårnedbrytbar råvara i en biogasanläggning och det krävs långa uppehållstider för processen. För att halm ska bli en betydande råvara i biogasanläggningar behöver halmen brytas ner både snabbare och i större utsträckning. Sen skörd av växtmaterial från våtmarker har egenskaper som är likartade med halm, och även för detta material kan ammoniakbehandling förbättra användning som biogasråvara.

Ammoniakbehandling av halm används traditionellt för att öka fodervärdet vid utfodring till nötdjur. Ammoniakbehandling har även identifierats som en möjlig metod för att förbehandla biomassa för energiproduktion (Alvira m.fl. (2010), Rajesh Gupta m.fl. (2010), Hendriks m.fl. (2009)). I ett flertal studier har ammoniakförbehandling av halm, eller halmliknade substrat, för biogasproduktion testats. Dessa studier har utförts för den fasta fiberfraktionen från avvattnad svingödsel (Aalborg universitet, Danmark), rishalm (Indien), majshalm (Kina), rishalm (Kina) samt präriehirs (USA) (Skiadas (2012), Song (2012) respektive Himmelsbach (2009)). Dessa studier har alla gett 40-180 % ökat metanutbyte vid rötning jämfört med

rötning av samma material utan ammoniakförbehandling. Ammoniakbehandling av halm ser därför ut att vara en behandlingsmetod som har möjlighet att uppnå kraven om snabbare omvandling av halmen till biogas och att utbytet av biogas förbättras.

EU-kommissionens s.k. ILUC-förslag om begränsning av andelen energigrödor för produktion av drivmedel medför att det blir ännu viktigare att maximalt utnyttja energiinnehållet i tillgängliga restprodukter för produktion av drivmedel (MEMO 12/787). Halm och andra restprodukter är därför mer aktuella för drivmedelsproduktion än tidigare. Dessa lignocellulosarika material kan efter förbehandling antas komma att utgöra en viktig och intressant bas för biogasproduktion (Björnsson m.fl. 2014).

## *Syfte och mål*

Syftet med studien var att utvärdera huruvida ammoniakbehandling av halm respektive våtmarks massa är en effektiv förhandlingsmetod för biogasproduktion.

## *Teori*

Det finns flera olika alkaliska förbehandlingsmetoder av lignocellulosa, däribland ammoniakbehandling. Syftet med förbehandlingen är att luckra upp strukturen i materialet och frigöra ligninet. Detta sker genom att ammoniaken bryter kovalenta ligninbindningar vilket resulterar i att ligninet blir mer vattenlösligt då både molekylvikten minskar och ligninets hydrofila egenskaper förändras (Björnsson m.fl. 2014).

I labb- och pilotskala är blötläggning av ett material i en ammoniaklösning en vanligt förekommande metod. Blötläggning innebär att biomassa läggs i en ammoniaklösning och förvaras i en sluten behållare för att undvika avdunstning av ammoniaken. Tid avseende blötläggning, temperatur, förhållande mellan vätska och biomassa samt koncentrationen av ammoniak påverkar metanutbytet av materialet (Himmelsbach 2009).

Två vanliga metoder för ammoniakbehandling av halm inom lantbruket är vakuum- och armakometoden, i vilka materialet behandlas med gasformig ammoniak. Med vakuummotoden behandlas en hel halmstack som är omgiven av en plast. Efter förslutning vakuumsugs stacken och därefter förs ammoniak in med hjälp av en fördelnings slang. Armakometoden innebär att ammoniak injiceras i en bal med hjälp av ett spjut (Paulsson, 2015).

## *Material och metoder*

Baserat på satsvisa försök och en foderanalys gjordes en initial bedömning gällande effekten av ammoniakkoncentration vid behandling. Resultatet från de satsvisa försöken och foderanalysen låg till grund för val av substrat som användes i kontinuerliga försök. I nedanstående avsnitt finns en mer utförlig beskrivning av de olika momenten.

## *Substrat*

I projektet har obehandlad respektive ammoniakbehandlad halm och våtmarks massa använts som substrat. Den obehandlade våtmarks massan bestod av två typer, ensilerad och lufttorkad. Halm som använts i försöken är höstvetehalm. Ammoniakbehandlingen utfördes genom spjutinjektion av koncentrerad ammoniak. I foderanalysen analyserades material behandlade med tre olika doseringar; 2 %, 3 % och 6 % ammoniak per kilo för halm och med 3 % för våtmarks massan. Innan utrötningsförsöken påbörjades karakteriserades de olika substraten med avseende på sammansättning såsom exempelvis TS- och VS-halt, cellulosa,

hemicellulosa, lignin samt näringsinnehåll. Dessa analyser gjordes av Eurofins. Svingödsel användes som samrötnings-substrat och referens i de kontinuerliga försöken. Svingödseln och övriga substrat processades i en köksmixer respektive klipptes så att substraten inte innehöll större bitar än 1 cm.

### *Satsvisa försök*

Satsvisa utrötningsförsök utfördes för att bestämma metanpotentialen för substraten samt för att göra en initial bedömning avseende effekten av förbehandling med ammoniak. Två olika ympkulturer användes för att undersöka huruvida nedbrytningsförloppet av substratet varierade med val av ymp. De substrat som användes i utrötningsförsöken var obehandlad respektive ammoniakbehandlad höstvetehalm samt tre typer av våtmarksmassa; ensilerad, ammoniakbehandlad och lufttorkad. Substraten som var ammoniakbehandlade behandlades med 3 % ammoniak. En sammanställning av försöken redovisas i Tabell 1.

*Tabell 1: Sammanställning av kolvarna avseende satsvisa utrötningsförsök.*

<i>Substrat</i>	<i>Ymp</i>	<i>TS-halt i kolv (%)</i>
Obehandlad halm	Västerås	10,2
Halm 3 % ammoniak	Västerås	10,1
Obehandlad halm	Maglasäte	10,7
Halm 3 % ammoniak	Maglasäte	10,7
Våtmarksmassa ensilerad	Västerås	8,9
Våtmarksmassa 3 % ammoniak	Västerås	8,7
Våtmarksmassa lufttorkat	Västerås	9,9

Initialt vägdes önskad mängd ymp och substrat in i respektive utrötningskärl, refererad till som kolv i rapporten, och placerades sedan i vattenbad. Producerad biogas samlades upp i mätglas och avlästes dagligen under inkubationstiden. Metanhalten i producerad biogas bestämdes genom att låta en definierad mängd biogas flöda genom ett lutbad, i vilket koldioxid absorberas. Försöken utfördes som trippelprov för att upptäcka avvikelser och säkerställa resultaten. Experimenten utfördes i 1-liters glaskolvar där den totala provvolymen i respektive kolv var 700-850 gram och förhållandet mellan ymp och substrat var cirka 0,65 gram TS ymp/gram TS substrat. Försöken pågick under 103 dagar. Kompletterande utrötningsförsök med ensilerad våtmarksmassa och ammoniakbehandlad våtmarksmassa gjordes efter cirka 20 dagar. Totalvolymen i de kompletterande försöken var samma som tidigare, dock justerades förhållandet till 2 gram TS ymp/gram TS substrat.

### *Kontinuerliga försök*

De kontinuerliga försöken pågick under cirka 6 månader för att säkerställa att stabila förhållanden uppnåts. Under den sista uppehållstiden, refererad till som utvärderingsperioden senare i rapporten, genomfördes flertalet analyser och jämförelser i utvärderingssyfte. Den första delen av försöksperioden användes till att starta upp röt-kammarna och i huvudsak öka den organiska belastningen. Belastningen ökades med 0,25 g TS/liter och dygn i takt med att stabil drift uppnåts. Då utvärderingsperioden utgjorde kärnan i de kontinuerliga försöken kommer i huvudsak denna period beskrivas avseende både utförande och resultat. Uppehållstiden i röt-kammarna var den samma för att på bästa sätt kunna jämföra substraten samt utvärdera effekten av ammoniakbehandlingen.

Under försöksperioden pågick rötning-försök i fyra röt-kammare samtidigt. Utöver svingödsel användes halm, halm behandlad med 3 % ammoniak och ensilerad våtmarksmassa i

substratmixen till röt-kammare 1, 2 respektive 3. Substratet till reaktor 4 bestod enbart av svingödsel och användes som referens till övriga försök för att avgöra effekten från det kompletterande substratet. Under utvärderingsperioden skickades rötrest iväg för analys avseende TS, VS, Alkalinitet C/N-kvot, NH<sub>4</sub>-N och VFA till Lennart Månsson International (LMI).

### Röt-kammare

Designen av röt-kamrarna till de kontinuerliga försöken gjordes av personal på BioMil och Ljungkvist Industriservice AB tillverkade de olika delarna. Reaktorerna designades för att kunna hantera strå- och fiberrika substrat samt för att simulera och efterlikna en fullskalig röt-kammare i största möjliga utsträckning och samtidigt ge goda utvärderingsmöjligheter. Den totala volymen för varje röt-kammare är cirka 14 liter, med en aktiv volym upp till 12 liter. Röt-kammaren är försedd med mekanisk toppmonterad omrörning, temperaturreglering, online-mätning av metan, koldioxid samt gasflöde. Omrörningen i varje reaktor gick att styra via omrörningssekvenser där både tider, rotationshastighet och rotationshåll kunde ställas in. På så vis kunde omrörarna forceras eller reverseras för att lösa upp ett svämtäcke eller sediment. Både den omgivande manteln och väggen till röt-kammaren är gjorda i glas vilket möjliggör okulär observation gällande omblandning. Uppvärmning av röt-kamrarna skedde via en vattenkrets som var kopplad till ett vattenbad. Öppningar för in- och utmatningar av substrat respektive rötrest är ordentligt tilltagna för att kunna hantera höga TS-halter och strårika substrat.

### Driftsbetingelser

Under utvärderingsperioden var uppehållstiden, HRT, cirka 26 dygn i samtliga röt-kammare då detta är en vanlig uppehållstid i gårdsanläggningar. Försöken utfördes vid mesofil temperatur, 37 °C. Substrattillförsel och utmatning av rötrest från reaktorerna skedde en gång per dygn. Under utvärderingsperioden gjordes detta varje dag men innan utvärderingsperioden startade skedde in- och utmatningar på vardagar. Både vid tillförsel och utmatning vägdes substrat respektive rötrest och registrerades i styrsystemet för vidare bearbetning. Den organiska belastningen, både i form av TS och VS, i respektive röt-kammare redovisas i tabell 2 tillsammans med det undersökta substratet. Av tillförd mängd TS utgjordes ca 25 % av halm och våtmarks massa i röt-kammare 1, 2 och 3, och resterande del av svingödsel.

Tabell 2 Organisk belastning och studerat substrat för respektive röt-kammare. Av den organiska belastningen, baserad på TS, utgjorde det undersökta substratet 25 %.

Röt-kammare	1	2	3	4
Undersökt substrat	Halm	Ammoniak-behandlad halm	Ensilerad våtmarks massa	Enbart svingödsel
Organisk belastning (g TS/1 dygn)	3,8	3,8	3,6	2,6
Organisk belastning (g VS/1 dygn)	2,3	2,3	2,2	1,7

Organisk belastning, uppehållstid, mängd i röt-kammaren och metanutbyte beräknades en gång i timmen under försöksperioden och baserades på data från de senaste sju dygnen vid varje tillfälle. I beräkningarna har förlust av massa i form av gas inkluderats, där gasen antagits vara en blandning av metan, koldioxid och vattenånga. I beräkningarna har rötresten antagits ha en densitet på 1 g/cm<sup>3</sup>.

### *Analysutrustning*

Biogasflödet från varje rötchammare mättes med flödesmätare av typ Dr. Ritter MilliGascounter MGC-10 V.3 och koncentration av metan och koldioxid analyserades online med sensorer från Dynament. Temperaturen mättes dels i varje reaktor, dels i rummet samt i vattenbadet som värmdes reaktorerna. För temperaturmätningen har EI-1034-sensorer från LabJack använts. Dessa har en mät noggrannhet på  $\pm 1$  F (0,56 K) vid rumstemperatur och ett mätområde från -17 till 110 °C. Noggrannheten över hela mätområdet är  $\pm 2$  F. Temperaturgivarna har kalibrerats genom att utsätta dem för samma temperatur och beräkna en offset för varje givare. En tryckgivare från Tecsia med ett mätområde på 0,7 till 1,1 bar(a) har använts för att mäta lufttrycket på labbet. Upplösningen på tryckmätningen var 12,4 Pa, avvikelser från SMHI-data var ca +0,2 till +0,3 % (2-3 mbar). Givarna för rumstemperatur och tryck har använts för att räkna om driftvolym till normaliserad volym enligt lagen för ideala gaser.

### *Rötrestpotential*

När utvärderingsperioden var avslutad undersöktes den kvarvarande metanpotentialen i rötresten. Försöket utfördes i rötchammarna som användes för de kontinuerliga försöken och pågick i cirka sju veckor.

### *Ekonomisk bedömning*

Baserat på resultatet från de kontinuerliga försöken samt kostnaden för ammoniakbehandlingen gjordes en ekonomisk bedömning av metoden. Den ekonomiska bedömningen gjordes i dialog med leverantörer av behandling i stor skala.

### *Resultat*

I nedanstående avsnitt presenteras resultaten från genomförda analyser och försök. Resultaten presenteras i den ordning de är genomförda, sist redovisas de kontinuerliga försöken.

### *Foderanalys*

För de flesta av analysparametrarna syns inga tydliga tendenser mellan behandlat och obehandlat material. Vissa av skillnaderna är också mindre än mätosäkerheten för analysen. Råprotein och effektivt protein ökar med dosen ammoniak för båda substraten, men ökar mer för våtmarksmassan. I analysen för råprotein ingår även ammonium från  $\text{NH}_3$ -tillsatsen vilket är en förklaring till ökningen. Energin till nötkreatur ökar något med ökad ammoniak tillsats för halm. För våtmarksmassa är värdet nästan lika högt för ammoniakbehandlat som för lufttorkat substrat.

### *Satsvisa försök*

I tabell 3 visas metanpotentialen, BMP, från utrotningsförsöken. Presenterade värden redovisas som ett medelvärde av alla försök av samma typ tillsammans med standardavvikelsen för försöksserien. Ympens bidrag till gasproduktionen har dragits bort från presenterade metanpotentialer för halm och våtmarksmassa.

Försöken visar att valet av ymp inte har medfört någon betydande påverkan gällande nedbrytningshastighet av substraten. Efter 15 dagars rötningstid var BMP lika för obehandlad och ammoniakbehandlad halm men därefter är BMP något högre för den obehandlade halmen och när försöket avslutas har den obehandlade halmen en högre metanpotential än den ammoniakbehandlade halmen. Gasproduktionen i kolvarna med våtmarksmassa som

ensilerats respektive behandlats med 3 % ammoniak var låg i början av försöken. Orsaken till detta är sannolikt att pH-värdet har sjunkit på grund av att bildning av syra har varit snabbare än omsättningen. Efter cirka 20 dagar avbröts därför två försök från vardera serie och försöken gjordes om, denna gång med ökad andel Västeråsyp.

Tabell 3. Sammanställning av utröttningsförsöken. Angivna värden är medelvärden för dubbel- och trippelprover.

Substrat	Ymp	liter CH <sub>4</sub> per kg TS
Obehandlad halm	Västerås	305 ± 3
Halm, 3 % ammoniak	Västerås	248 ± 7
Obehandlad halm	Maglasäte	320 ± 3
Halm 3, % ammoniak	Maglasäte	257 ± 2
Våtmarksmassa, ensilerad	Västerås	243
Våtmarksmassa, ensilerad med ökad mängd ymp	Västerås	310 ± 5
Våtmarksmassa 3 % ammoniak	Västerås	222
Våtmarksmassa, 3 % ammoniak med ökad mängd ymp	Västerås	282 ± 5
Våtmarksmassa lufttorkad	Västerås	297 ± 5

### Kontinuerliga försök

I resultatet visas endast data från utvärderingsperioden, den sista uppehållstiden under försöksperioden. I alla figurer visas till synes avvikande värden, i form av kraftiga toppar eller svackor. Detta beror på att värden har beräknats i samband med att substrat har tillförts rötkammaren och inget har tagits ur eller tvärtom. Att nya beräkningar gjorts en gång per timme medför också att presenterad data i vissa fall har ett trappliknande utseende. I tabell 4 anges vilket substrat som använts i vilken rötkammare samt hur dessa refereras till i kommande figurer.

Tabell 4. Sammanställning gällande undersökt substrat i respektive rötkammare samt deras benämning.

Rötkammare	1	2	3	4
Undersökt substrat	Halm	Ammoniak-behandlad halm	Ensilerad våtmarksmassa	Enbart svingödsel
Figurbenämning	RK1	RK2	RK3	RK4

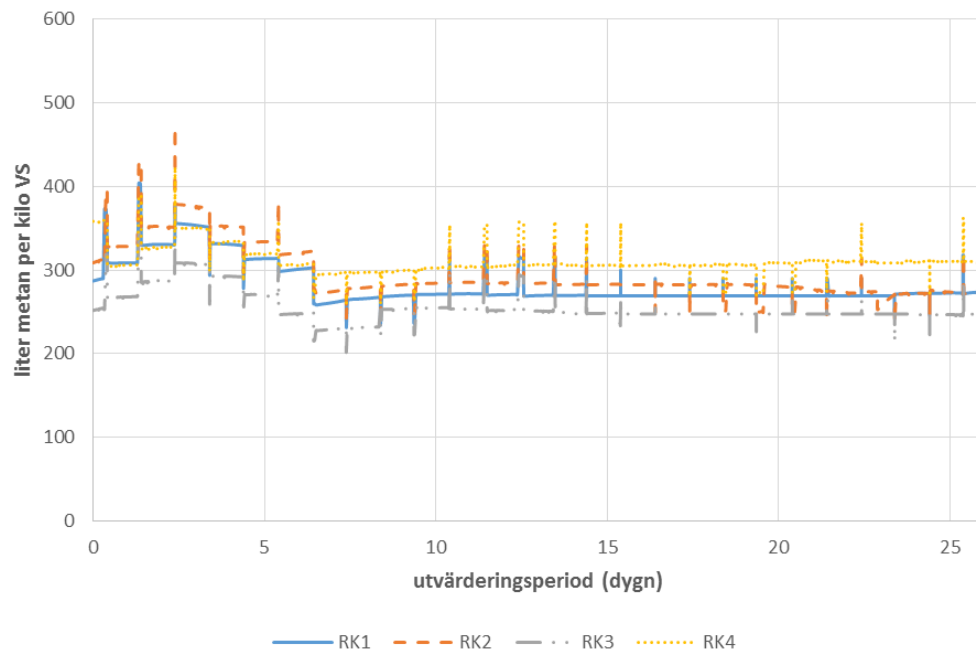
### Driftsparametrar

Under utvärderingsperioden mättes pH dagligen i samtliga rötkammare. Under hela perioden var pH-värdet stabilt och cirka 7,7 i alla fyra rötkammare. Mängden alkaliska joner i rötkammare 1 och 4 är 15-20 g/l och knappt det dubbla i rötkammare 2 och 3. Mängden ammoniumkväve i utgående biogödsel är i nivå med konventionella rötkammare, 2.7-3.5 g/kg. Koncentrationen av VFA varierar i ett intervall som är naturligt, 0.4-2.0 g/l, med undantag från några 0-värden. Med tanke på den rådande metanproduktionen, vilket tyder på en fungerande nedbrytningsprocess, är det dock orimligt att VFA koncentrationen skulle vara noll. I samband med analyserna utförda av LMI undersöktes även förhållandet mellan kol och kväve, C/N-kvot, i rötresten. Kvoten var cirka 6 i rötkammare 1 och drygt 5 i rötkammare 2 och 3. Motsvarande värde i rötkammare 4 var något lägre, drygt 4. Att kvoten skulle vara lägst i rötkammare 4 var väntat då svingödsel är rikt på kväve och halm och våtmarksmassa innehåller mycket kol.



## Metanutbyte

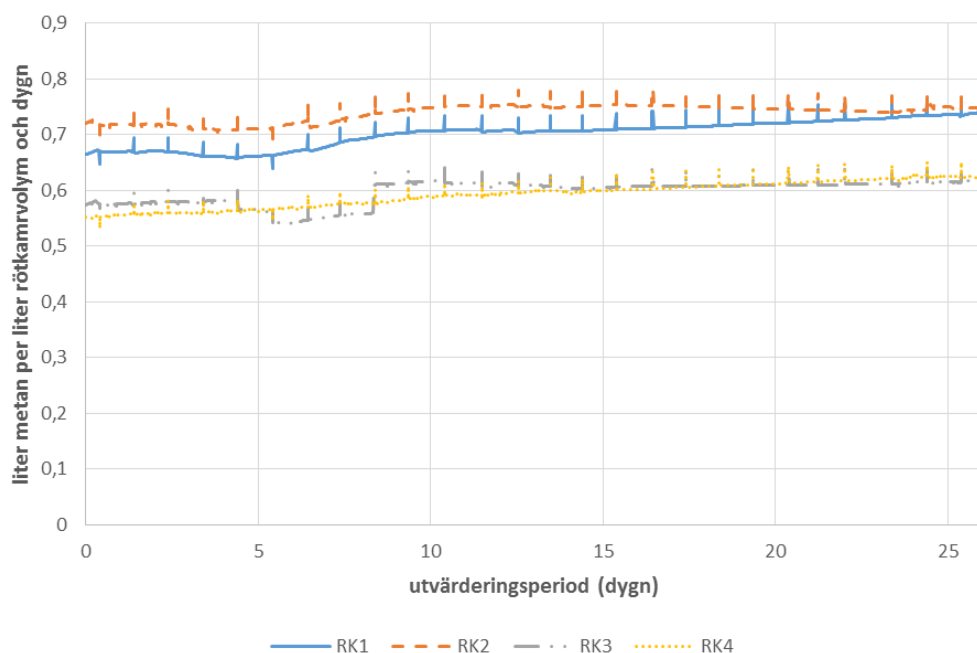
I figur 1 och 2 ses metanutbytet i respektive röt-kammare. I figur 1 redovisas metanutbytet baserat på mängden organiskt material i röt-kammaren, liter metan per kilo VS. I figur 2 visas metanproduktionen relativt den aktiva volymen, liter metan per liter röt-kammarvolym och dygn, beräknade utbyten redovisas även i tabell 5.



Figur 1. Metanutbyte i form av metanproduktion i förhållande till mängden organiskt material i röt-kammaren. Avvikande värden, i form av skarpa toppar och svackor, beror på beräkningar har gjorts med 1 timmes tidsintervall.

Metanutbytet, baserat på mängd organiskt material, påverkas direkt av den organiska belastningen. Anledningen till att presenterade data från de första 7 dygnen inte är i linje med resterande beror på att den dagliga in- och utmatningen inte var samma innan utvärderingsperioden började, vilket i sin tur påverkar beräkningarna de kommande sju dygnen. Detta påverkar dock inte metanutbytet baserat på den aktiva volymen.

Som tydligt syns i figur 1 är metanutbytet, baserat på organiskt material, högst i röt-kammare fyra som enbart innehåller gödsel. Detta är väntat då innehållet i övriga röt-kammare utgörs av mer svårnedbrytbart substrat i form av halm och våtmarksmassa. Utbytet i röt-kamrarna med ammoniakbehandlad och obehandlad halm är samma och något lägre för den ensilerade våtmarksmassan. Metanproduktion i förhållande till den aktiva volymen beskriver hur väl röt-kammaren utnyttjas. Som syns tydligt i figur 2 är denna typ av metanutbyte högst i röt-kammare 1 och 2 och lägre för röt-kammare 3 och 4. Jämfört med röt-kammare 3 och 4 är metanutbytet i röt-kammare 1 och 2 cirka 20 % högre.



Figur 2. Metanproduktion i relation till den aktiva volymen i rötkamrarna. Avvikande värden, i form av skarpa toppar och svackor, beror på autentisk data.

Tabell 5. Metanutbyte baserat på organiskt material och i förhållande till den aktiva volymen i respektive rötkammare.

Rötchammare	1	2	3	4
Undersökt substrat	Halm	Ammoniak-behandlad halm	Ensilerad våtmarks massa	Svin-gödsel
Liter metan per gram VS	273	272	247	307
Liter metan per liter rötchammarsvolym och dygn	0,74	0,75	0,62	0,62

### Rötrestpotential

I tabell 6 visas metanpotentialen för rötresterna från de kontinuerliga försöken. Som framgår av data är substraten inte helt utrotade efter de kontinuerliga försöken och det finns en del gas kvar att utvinna. Efter knappt 50 dygns inkubationstid är metanpotentialen cirka 100 liter metan per kilo VS för rötresten som innehåller ammoniakbehandlad halm och ensilerad våtmarks massa. Rötresten med enbart gödsel är något lägre i jämförelse medan rötresten med den obehandlade halmen ger nästan 120 liter metan per kilo VS. Resultatet från försöken med halm är i linje med utrotningsförsöken som gjordes för att bestämma metanpotentialen i respektive substrat då den obehandlade halmen visade sig ha högre metanpotential än ammoniakbehandlad halm.

Tabell 6. Metanpotential i rötrest från respektive rötchammare.

Rötchammare	1	2	3	4
Undersökt substrat	Halm	Ammoniak-behandlad halm	Ensilerad våtmarks massa	Svin-gödsel
Metanpotential	117	101	95	100



## *Ekonomisk bedömning*

I ett nyligen genomfört projekt (Eliasson, 2014) har Hushållningssällskapet utvärderat 29 biogasanläggningar på gårdsnivå. I projektet har bland annat en ekonomisk utvärdering av gårdsbaserad biogas utförts (Jansson, 2014). I utvärderingen konstateras att mängden rågas som produceras per reaktorvolym (rötkammare plus efterrötkammare) är för låg och att det behövs komplettering med substrat som producerar ett energivärde som är högre än kostnaden för substratet. Samtidigt begränsas möjligheten att använda energigrödor som biogassubstrat av EU-kommissionens ILUC-föreslag, vilket ökar vikten av optimal utväxling av restprodukter.

Ammoniakbehandling av halm kostar cirka 40 öre per kg material (Paulsson, 2015). De satsvisa försöken visar på ett metanutbyte från obehandlad halm på cirka 250 liter metan/kg TS. Med ett rågaspris på 40 öre per kWh (Jansson, 2014) innebär det att gasutbytet från ammoniakbehandlad halm måste öka med 40 % för att motsvara kostnaden för ammoniakbehandlingen.

## *Diskussion*

Resultatet från försök med ammoniakbehandlad halm och våtmarks massa visar på en lägre metanpotential jämfört med obehandlat material. Detta var oväntat och skiljer sig från tidigare publicerade resultat som påvisat att ammoniakbehandling medför ett högre metanutbyte. Anledningen till detta går inte att avgöra utifrån uppnådda resultat. I resultatet från foderanalysen går det emellertid inte att se några tydliga skillnader mellan ammoniakbehandlat och obehandlat material. Sammansättningen i materialen är väldigt snarlik och flertalet av de små skillnader som finns är mindre än mätosäkerheten för analysen.

I de studier där en högre metanpotential har uppnåtts har en annan typ av förbehandling använts, blötläggning i ammoniaklösning. Denna typ av förbehandling resulterar i att en del lignin löser sig i vätskan och det är oklart huruvida denna fraktion tas hänsyn till i senare utrotningsförsök. Då lignin är väldigt svårnedbrytbart skulle bortförsl av denna öka den rötbara andelen av kvarvarande material och på så vis resultera i en högre metanpotential. I rapporten från Himmelsbach, 2009, anges just reduktionen av ligninet som en möjlig anledning till ökad metanpotential.

Från försöken går det att konstatera att halm är ett lämpligt biogassubstrat och utgör ett bra komplement till gödsel i en gårdsbiogasanläggning. Inkludering av halm resulterar i att metanproduktionen i förhållande till volymen av rötkammaren ökar med minst 20 % jämfört med rötning av enbart gödsel. Detta medför att den befintliga anläggningen utnyttjas bättre och närmare vad som är optimalt. Inkludering av halm berikar även rötresten med mullhöjande ämnen vilket resulterar i en bättre biogödsel. Metanutbyten från försök med våtmarks massa visade sig vara lägre jämfört med halm. Tillförsel av våtmarks massa ger enligt försöken ingen förändring avseende utnyttjandet av rötkammaren.

## *Slutsatser*

För flera av analysparametrarna som ingår i foderanalysen går det inte att påvisa några tydliga skillnader mellan ammoniakbehandlat och obehandlat material.

Baserat på genomförda försök går det inte att visa att halm och våtmarks massa ammoniakbehandlade med spjutinjektion medför ett ökat metanutbyte i förhållande till obehandlat material. Snarare tyder metanpotentialen på att andelen rötbart organiskt material minskar. Exakt vad detta beror på går inte att avgöra utifrån uppnådda resultat.

Ammoniakförbehandling av halm är vanligt förekommande i lantbruket för att öka fodervärdet av halm. Befintliga metoder, armako- eller vakuummeteroden, kan även användas som behandlingsmetod av biomassa för biogasändamål i stor skala. Då behandlingen utgör en kostnad och enligt uppnådda resultat inte medför ett ökat metanutbyte är det dock inte lämpligt att förbehandla halm och våtmarks massa med ammoniak innan rötning.

Inkludering av halm som biogassubstrat påverkar den hydrauliska uppehållstiden ytterst lite, men medför en ökning av biogasproduktionen. Utgående från enbart gödsel går det att öka biogasproduktionen med minst 20 %. Detta medför att den befintliga anläggningen utnyttjas bättre och närmare vad som är optimalt.

## Referenser

Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., Negro, M.J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*, nr 101, s. 4851–4861.

Björnsson, L. m.fl. (2014) Förbehandling av lignocellulosarika råvaror för biogasproduktion, Björnsson, L., del Pilar Castillo, M., Gunnarsson, C., Svensson, S-E., Wallberg, O., Rapport 92, Miljö- och energisystem Lunds Tekniska Högskola

Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G. (2009). Review: Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, nr. 100, s.10–18.

Himmelsbach, Jennifer Nicole (2009). Aqueous ammonia soaking (AAS) as a biomass pretreatment method: pilot-scale study with switchgrass, bench-scale use with poplar, and methane potential from anaerobic digestion of pretreated switchgrass. Iowa State University, Graduate Theses and Dissertations. Paper 10325. <http://lib.dr.iastate.edu/etd/10325>

Linné, M. m.fl. (2008). Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. BioMil AB och Envirum AB på uppdrag av Avfall Sverige, Svenska Biogasföreningen, Svenska Gasföreningen och Svenskt Vatten.

MEM0 12/787. Indirect Land Use Change (ILUC). European Commission. 2012-10-17.

Paulsson, T. (2015) Agronor Halm AB, personlig kommunikation.

Rajesh Gupta, Lee, Y.Y. (2010). Investigation of biomass degradation mechanism in pretreatment of switchgrass by aqueous ammonia and sodium hydroxide. *Bioresource Technology*, nr 101, s. 8185–8191.

Skiadas, I. (2012). A moderate and sustainable chemical pretreatment for enhanced methane production from manure fibers. Aalborg universitet, presentation vid Nordic Biogas Conference i Köpenhamn 23-25 april 2012.

Song, Z., Yang, G., Guo, Y., Zhang, T. (2012). Comparison of two chemical pretreatments of rice straw for biogas production by anaerobic digestion. *Bioresources* 7(3), 3223-3236.

Zhong, W., Zhang, Z., Qiao, W., Fu, P., Liu, M. (2011). Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion. *Renewable Energy*, nr 36, s. 1875-1879.