

KVARVARANDE BIOGASPOTENTIAL I BEFINTLIGA BIOGASANLÄGGNINGAR

RAPPORT 2017:360



ENERGIGASTEKNIK



Energiforsk

Kvarvarande biogaspotential i befintliga biogasanläggningar

Undersökning av metanpotential i utgående biogödsel

MARITA LINNÉ, EMELIE PERSSON

ISBN 978-91-7673-360-8 | © ENERGIFORSK mars 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projektet 14.33 Kvarvarande biogaspotential i befintliga biogasanläggningar (Energimyndighetens projektnummer 39175-1). Projektet har genomförts inom samverkansprogrammet Energigasteknik 2013–2017 som är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Energiforsk (tidigare Svenskt Gasteknisk Center AB, SGC). Det har därigenom finansierats av Energimyndigheten och har delfinansierats av Region Skåne, BioMil AB (numera IVL Svenska Miljöinstitutet) samt Borås Energi och Miljö, Brogas AB, Falkenbergs Biogas AB, Kristianstad Biogas AB, OX2 (NSR), SBI Jordberga AB, SBI Västerås AB, Söderåsens Bioenergi AB, Södra Hallands Kraft Biogas AB, Uppsala Vatten och Avfall AB och Vårgårda Herrljunga Biogas AB.

Projektets syfte har varit att undersöka kvarvarande biogaspotential i utgående biogödsel från efterrötkammaren för att erhålla ett kunskapsunderlag för att möjliggöra såväl mer miljömässigt som ekonomiskt optimerade biogasanläggningar.

Projektet har genomförts av Marita Linné och Emelie Persson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Projektet startades av BioMil AB och flyttades sedan till IVL i samband med att IVL övertog BioMils verksamhet under projekttiden.

Projektet har följts av representanter för de elva biogasanläggningar som har deltagit i projektet. Författarna tackar biogasanläggningarnas representanter för gott samarbete och givande diskussioner under projekttiden.

Marita Linné och Emelie Persson

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Projektets syfte har varit att utvärdera kvarvarande biogaspotential i utgående biomassa från rötkammaren samt kvarvarande biogaspotential i biogödseln efter efterrötkammaren för att erhålla ett kunskapsunderlag för såväl mer miljömässigt som ekonomiskt optimerade biogasanläggningar.

Elva biogasanläggningar har deltagit i försöken och anläggningarna har skickat biomassa/biogödsel utgående från rötkammare och efterrötkammare vid tre tillfällen under 2016. Provernas kvarvarande metanpotential har bestämts i satsvisa laboratorieförsök s.k. BMP-tester (Biochemical Methane Potential).

BMP-testerna visar att den högsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen i utgående biogödsel från efterrötkammarna var 5,6 m³ metan/m³ biogödsel och den lägsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen var 2,5 m³ metan/m³ biogödsel. Med en total biogödselproduktion på 1,7 miljoner ton i svenska samrötningsanläggningar under 2015 så motsvarar den kvarvarande metanpotentialen enligt BMP-testerna 42-100 GWh/år. Jämfört med de svenska samrötningsanläggningarnas totala energiproduktion under 2015 på 854 GWh så motsvara den kvarvarande metanpotentialen 5-12 % av gasproduktionens energiinnehåll.

För att kunna utvinna hela den kvarvarande biogaspotentialen krävs uppehållstider och rötkammarvolym som inte är praktiskt och ekonomiskt rimliga. Däremot kan det för en del av biogasanläggningarna vara lönsamt att komplettera med ytterligare rötkammare för att öka uppehållstiden med 5-20 dygn och på så sätt att utvinna mer biogas ur de råvaror som har transporterats till anläggningen. En uppskattning av lönsamheten visar att för de anläggningar som har den högsta kvarvarande metanpotentialen ligger avskrivningstiden mellan 3 och 7 år vid ett rågaspris på 0,55 kr/kWh. Till investeringen tillkommer platsspecifika kostnader, markarbeten, rördragningar och övrigt som krävs för sammankoppling med befintlig anläggning.

En utökad rötkammarvolym medför även att andel kväve som omvandlas till ammoniumkväve ökar något vilket är positivt för biogödselns värde som gödselmedel. Efter 60 dygns rötning har andelen ammoniumkväve i biogödsel ökat, från i genomsnitt 50 %, till i genomsnitt 60 %.

Försöken visar att generellt sett så är utgående biogödsel från biogasanläggningarna väl utrotad vilket är av stor betydelse för att risken för metanutsläpp från biogödsellagringen ska vara låg. För vissa anläggningar kan dock, både ur miljömässig och ur ekonomisk synpunkt, en utökad rötkammarvolym rekommenderas.

Summary

The project aims to evaluate the residual biogas potential in the digestate after the primary digester and after the secondary digester. This knowledge will provide a basis for both more environmentally and economically optimized biogas plants.

The degree of degradation affects the produced amount of biogas that can be sold on the market. It also affects the methane formation in subsequent storage of digestate as well as the mineralization degree of the organically bound nitrogen.

Eleven biogas plants have participated in the experiments and the facilities have sent samples of digestate from the primary digester and the secondary digester on three occasions in 2016. The following biogas plants have participated in the project:

Borås Energi och Miljö - Sobacken

Brogas AB

Falkenbergs Biogas AB

Kristianstad Biogas AB

OX2 - Helsingborg/NSR

SBI Jordberga AB

SBI Västerås AB

Söderåsens Bioenergi AB

Södra Hallands Kraft Biogas AB

Uppsala Vatten och Avfall AB

Vårgårda Herrljunga Biogas AB

The residual methane potential in the digestate has been determined in batch laboratory tests, BMP tests. Biochemical Methane Potential (BMP) is a laboratory test assessing the potential biogas yield of an organic material. The digestion temperature has been 38 °C for digestate from mesophilic conditions and 55 °C for digestate from thermophilic conditions.

The methane potential after a digestion time of 60 days is presented in Figure 1 and Figure 2.

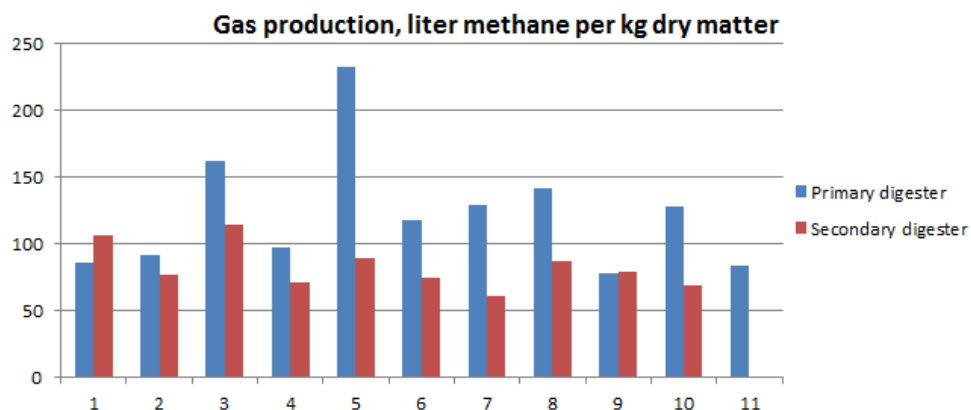


Figure 1. Achieved methane potential (average value) after about 60 days of digestion, liters of methane per kg DM. Each facility listed by number.

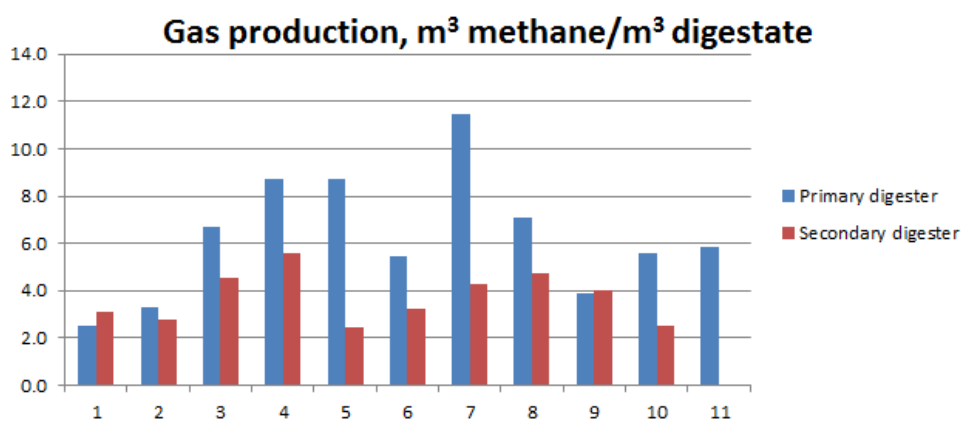


Figure 2. Achieved methane potential (average value) after about 60 days of digestion, m³ methane per m³ digestate. Each facility listed by number.

In Figure 3 variation in the residual methane potential in the digestate from the studied biogas plants is presented as minimum and maximum methane potential.

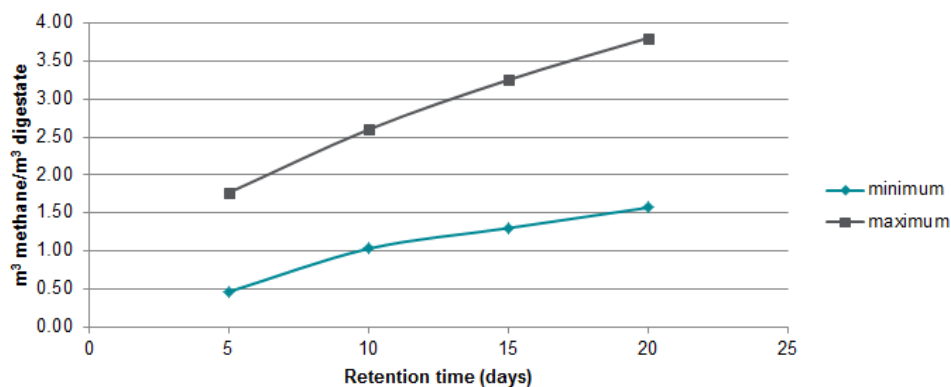


Figure 3. The residual methane potential at different retention times in the batch experiments. Recognized as the minimum and maximum methane potential measured from any of the facilities.

The results from BMP tests presented in Figure 3 show that the maximum average residual methane potential of outgoing digestate from secondary digesters was 5.6 m³ / m³ digestate and the lowest average residual methane potential was 2.5 m³ / m³ digestate. The total digestate production in the Swedish co-digestion plants in 2015 was 1.7 million tonnes. According to the BMP tests this gives a total of 42-100 GWh remaining in the digestate. Compared with the total energy production in Swedish biogas plants 2015, 854 GWh, the residual methane potential is 5-12% of the energy in the biogas production in Sweden.

It is not practical or economical feasible to extract all the residual methane potential because it requires long retention times and large reactor volumes. However, for some of the biogas plants, it could be profitable to supplement with an additional digester to increase the residence time with 5-20 days, thereby extracting more biogas from the feedstocks already transported to the plant. For the biogas plants with the highest residual methane potential, the payback period ranges between 3 to 7 years at a biomethane price of 0.55 SEK¹.

A larger digester volume also means that the conversion of organic nitrogen to ammonium increases slightly, which is positive for the value of the digestate as a fertilizer. After 60 days of digestion, the proportion of ammonium nitrogen in the digestate has increased from an average of 50% to an average of 60%.

Generally, the experiments show that residual methane potential in digestate from biogas plants is low. This is of great significance to minimize the risk of methane emissions from the storage of digestate. For some plants, however, both from an environmental and from an economic standpoint, an extended digester volume is recommended.

¹ Corresponding to 0.06 EUR (9 SEK/EUR exchange rate)

Innehåll

1	Bakgrund	9
2	Syfte	10
3	Mål	11
4	Genomförande	12
5	Resultat	14
5.1	Provtagning och försöksutförande	14
5.2	Resultat från BMP-testerna	14
5.3	Jämförelse med samrötningsanläggningarna	17
5.4	Ökad utrötningsgrad i biogasanläggningarna	17
5.5	Investering och lönsamhet	18
5.6	Miljöaspekter	20
5.7	Kvävesammansättning	21
6	Slutsatser	24
7	Referenser	25
Bilaga A:	Analysmetoder	26
Bilaga B:	Budgetpriser på eftererrötkammare med gaslager	27

1 Bakgrund

Biogasanläggningar producerar förnybar energi från olika typer av avfall och behandlingen innebär även ett minskat utsläpp av metan från gödsellagring. Den biomassa som lämnar en rötkammare är inte fullständigt utrötad utan har kvar en del av sin biogaspotential. Hur mycket av biogaspotentialen som finns kvar beror bl.a. på vilka substrat som tas emot i rötkammaren, hur lång uppehållstiden är i rötkammaren samt hur optimerad biogasprocessen är. Om anläggningen har en efterrötkammare och om den i så fall är uppvärmd har också en betydande påverkan på den totala utrötningsgraden.

Utrötningsgraden påverkar, förutom mängd producerad biogas som kan säljas, även vilken risk det finns för metanutsläpp från lagring av biogödseln (Berglund 2015). Utrötningsgraden påverkar dessutom hur stor andel av det organiskt bundna kvävet som mineraliserats och därmed blivit lättillgängligt för växterna.

En del undersökningar har gjorts på JTI avseende metanbildningen i lagringsbassänger för rötad gödsel (Rodhe *et al.*, 2013), (Rodhe *et al.*, 2016). I ett projekt, med Hushållningssällskapet som projektansvarig, har undersökningar genomförts på befintliga gårdsbiogasanläggningar (Eliasson 2015). För några av anläggningarna har utrötningsförsök gjorts på biogödseln. Anläggningarna i undersökningen har gödsel som grundsubstrat men tillför även andra mer energirika substrat.

Däremot saknas det samlade mätdata på biogaspotentialen i utgående biogödsel från samrötningsanläggningar i Sverige.

I samband med att biogasanläggningar beviljas tillstånd enligt miljöbalken kan det finnas krav på exempelvis efterrötkammare, kylning av utgående biogödsel och täckning av biogödsellager med syfte att minska risken för metanutsläpp. Mätdata från befintliga anläggningar med olika processlösningar skulle kunna bidra till att villkoren utformas för bästa möjliga miljönytta i kombination med de ekonomiska förutsättningarna för biogasanläggningarna.

Optimering av utrötningsgraden är därmed viktig ur flera aspekter:

- Mesta möjliga gasproduktion från ingående substrat.
- Låga metanutsläpp från biogödsellagring.
- Hög mineralisering av kväve för ökad gödselverkan.

2 Syfte

Projektets syfte är att utvärdera kvarvarande biogaspotential i utgående biomassa från rötammaren samt kvarvarande biogaspotential i biogödseln efter efterrötammaren för att erhålla ett kunskapsunderlag för att möjliggöra såväl mer miljömässigt som ekonomiskt optimerade biogasanläggningar.

3 Mål

Projektets mål är att:

- Bestämma BMP (Biochemical Methane Potential – Biokemisk metanpotential) i utgående biomassa efter huvudrötkammare och efter efterrötkammare i de fall det finns en sådan på biogasanläggningen.
- Bestämma mineraliseringen av organiskt bundet kväve i de uttagna proverna samt efter utrötning av biomassan i BMP-testerna.
- Genomföra ekonomiska beräkningar som redovisar lönsamheten för utökad nedbrytningsgrad genom olika kompletteringar i processlösningen samt beskriva olika möjliga tekniska kompletteringar.

4 Genomförande

Följande elva biogasanläggningar har deltagit i projektet:

Borås Energi och Miljö - Sobacken

Brogas AB

Falkenbergs Biogas AB

Kristianstad Biogas AB

OX2 - Helsingborg/NSR

SBI Jordberga AB

SBI Västerås AB

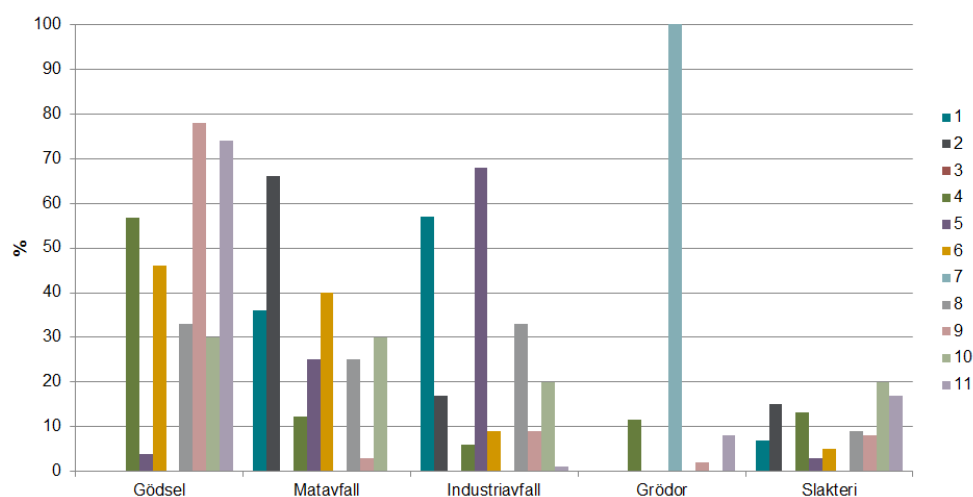
Söderåsens Bioenergi AB

Södra Hallands Kraft Biogas AB

Uppsala Vatten och Avfall AB

Vårgårda Herrljunga Biogas AB

Anläggningarnas substrat varierar, flertalet har en mix av gödsel, matavfall och avfall från livsmedelsindustrier men det förekommer även anläggningar med stor andel grödor respektive gödsel. I Figur 1 visas fördelningen mellan olika råvaror under 2016 hos de deltagande biogasanläggningarna.



Figur 1. Råvarufördelning 2016 (% av våtvikt) hos deltagande biogasanläggningar.

De flesta anläggningar har huvudrötkammare samt efterrötkammare med gasuppsamling men det förekommer även anläggningar utan efterrötkammare respektive anläggningar med både efterrötkammare och biogödsellager med gasuppsamling.

Personalen på anläggningarna har tagit ut prov från rötkammare, efterrötkammare och/eller biogödsellager med gasuppsamling. De har även sammanställt driftsdata från respektive anläggning.

Under det år som försöken har pågått har de deltagande biogasanläggningar fått en delrapport i juli 2016, d.v.s. efter halva försökstiden. Efter avslutade försök i december 2016 har varje deltagande biogasanläggning fått en slutrapport med försöksresultaten från den egna anläggningen.

Under januari har telefonintervjuer alternativt fysiska möten hållits med representanter för respektive biogasanläggning för att diskutera resultaten samt möjliga åtgärder på biogasanläggningarna som skulle kunna innebära att ännu mer biogas kan utvinnas.

Med utgångspunkt från den kvarvarande biogaspotential som skulle kunna utvinnas vid förlängd uppehållstid, enligt de resultat som uppnått i försöken, har en ekonomisk bedömning av lönsamheten tagits fram. Investeringskostnaden för att komplettera biogasanläggningar har beräknats och en känslighetsanalys beroende på antaget rågaspris har genomförts.

I föreliggande slutrapport redovisas inte resultaten från utrötningsförsöken så att de enskilda biogasanläggningarna kan identifieras utan presenteras med ett nummer. I vissa fall redovisas analysresultat enbart inom ett intervall.

Slutrapporten har granskats av de deltagande anläggningarna och deras kommentarer har inarbetats i rapporten.

5 Resultat

5.1 PROVTAGNING OCH FÖRSÖKSUTFÖRANDE

Varje biogasanläggning har tagit ut prover tre gånger under år 2016, provtagningstillfällena har varit; 2 februari, 11 april, 15 augusti samt 17 oktober. En försöksplan har lagts upp i samarbete med biogasanläggningarna för att de tre mest representativa provtagningstillfällena för respektive anläggning i möjligaste mån skulle väljas.

Anläggningarna har instruerats att genomföra provtagningen så att provmaterialet blir så representativt som möjligt. Detta innebär t.ex. att om provet tappas ur ett rör ska en mängd motsvarande minst rörsträckans volym tappas ur innan provkärlet fylls samt att prover från tank tas i direkt anslutning till att omrörning har skett. Övriga instruktioner har varit att provtagningsburkarna ska fyllas helt så att den anaeroba (syrefria) miljön bibehålls. Därefter ska proverna kylas innan de placeras i en kyllåda eller motsvarande tillsammans med kylklampar, dock utan att proverna fryser.

Proverna har skickats så att de anlänt till BioMils/IVL:s laboratorium senast dagen efter provtagningen. När proverna har anlänt har en del av provet skickats till Veolia AnoxService för analys av TS, VS, NH_4^+ samt TKN. En gång för varje anläggning har även VFA bestämts på provet före och efter utröttningsförsöket. Mätmetoder och mätosäkerhet anges i bilaga A.

Därefter har provmängden delats på två kolvar för BMP-test. Provmängderna för BMP-testet har varit 500-800 gram. Under utrötningen har kolvarna varit placerade i vattenbad vid 38°C respektive 55°C beroende på om rötningen på biogasanläggningen sker vid mesofil eller termofil temperatur. Gasproduktion och metanhalt mäts under utrötningstiden som har varit cirka 60 dygn. Efter avslutad rötning har det utrötade materialet skickats för analys av TS, VS och NH_4^+ . Totalkvävehalten har antagits vara oförändrad under rötningen.

5.2 RESULTAT FRÅN BMP-TESTERNA

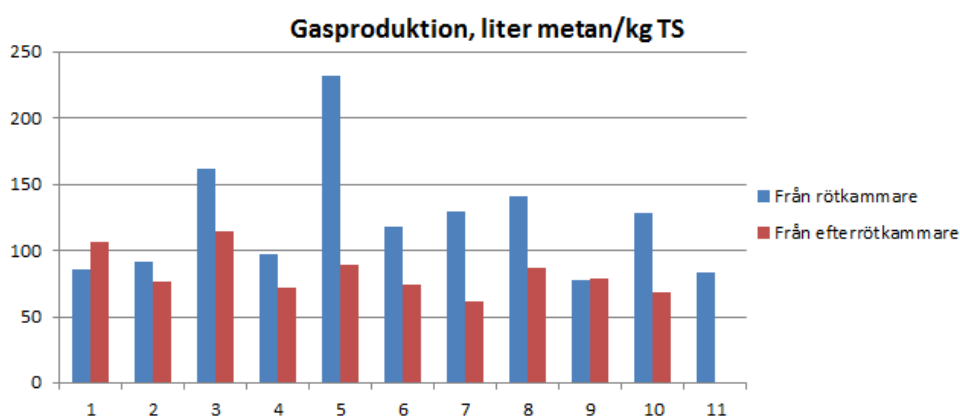
Torrsubstanshalten i utgående biomassa från rötkammaren i biogasanläggningarna varierar mellan 2,7 och 10,4 % av våtvikten. Torrsubstanshalten från efterrötkammare i biogasanläggningarna varierar mellan 2,6 och 8,6 % av våtvikten.

I tabell 1 samt även figur 2-4 redovisas medelvärden på metanproduktionen i BMP-försöken beräknat per kg TS, per kg VS samt per m^3 biogödsel.

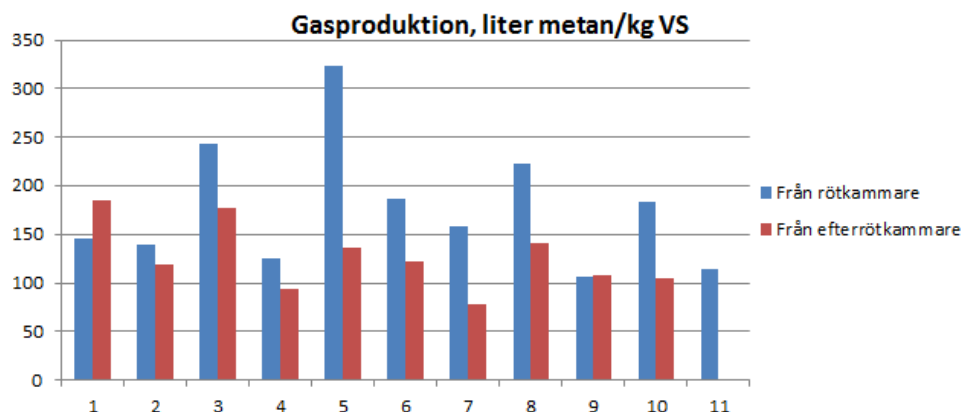
Tabell 1. BMP redovisat i olika enheter. Respektive anläggning anges med nr samt röt-kammare (RK, efterröt-kammare (ERK) och biogödsellager med gasuppsamling (BGL).

Anläggning	liter metan/kg TS	liter metan per kg VS	m ³ metan/m ³ biogödsel
1 RK	86	146	2,5
1 ERK	106	185	3,1
2 RK	92	139	3,3
2 ERK	77	118	2,8
3 RK	162	244	6,7
3 ERK	115	177	4,6
4 RK*	97	124	8,7
4 ERK	72	94	5,6
5 RK*	232	324	8,7
5 ERK*	89	137	2,5
6 RK	118	186	5,5
6 ERK	75	122	3,2
7 RK	130	158	11,4
7 ERK	61	78	4,3
8 RK	142	223	7,1
8 ERK	87	141	4,7
9 RK	78	107	3,9
9 ERK	79	108	4,0
10 RK	129	183	5,6
10 ERK	80	121	3,0
10 BGL	68	105	2,5
11 RK	83	114	5,9

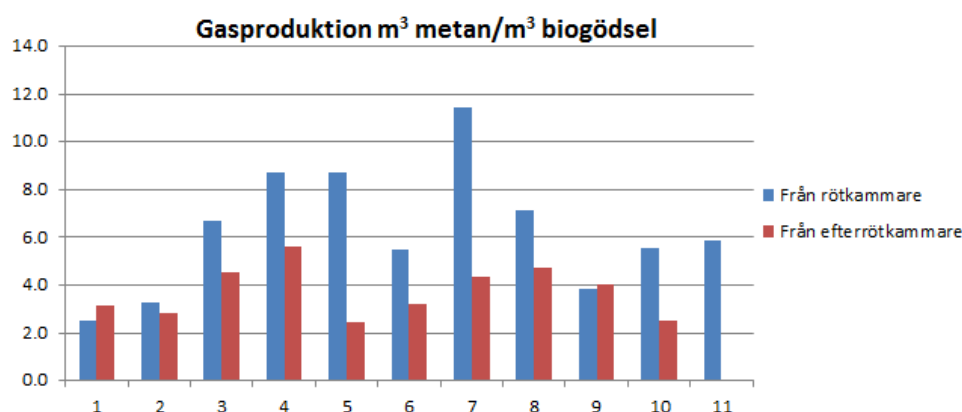
*två provtillfällen



Figur 2. Uppnådd metanpotential efter cirka 60 dygns utrötning, liter metan per kg TS. Respektive anläggning anges med nummer. Resultaten med beteckningen "Från efterröt-kammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i rötningsprocessen.



Figur 3. Uppnådd metanpotential efter cirka 60 dygns utrötning, liter metan per kg VS. Respektive anläggning anges med nummer. Resultaten med beteckningen "Från efterröt-kammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i röttningsprocessen.



Figur 4. Uppnådd metanpotential efter cirka 60 dygns utrötning, m³ metan per m³ biogödsel. Respektive anläggning anges med nummer. Resultaten med beteckningen "Från efterröt-kammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i röttningsprocessen.

Jämförs gasproduktionen från utgående biomassa från röt-kammaren och utgående biogödsel från efterröt-kammaren så visar försöken att i de flesta av anläggningarna så sker en betydande del av biogasproduktionen i efterröt-kammaren.

Redovisning av kvarvarande metanpotential i enheten m³ metan per m³ biogödsel är ett sätt att åskådliggöra hur mycket metan, och därmed intäkt från gasförsäljning, som körs ut med biogödseln till åkern. Den fortsatta utvärderingen av resultaten med avseende på möjlig produktionspotential från de svenska biogasanläggningarna samt ekonomisk bedömning görs baserat på denna enhet.

5.3 JÄMFÖRELSE MED SAMRÖTNINGSANLÄGGNINGARNA

Enligt Energimyndighetens årliga sammanställning (Energimyndigheten 2016) producerade de svenska samrötningsanläggningarna under 2015 biogas motsvarande 854 GWh. Produktionen av biogödsel från samrötningsanläggningarna var under samma period 1,7 miljoner ton (våtvikt).

BMP-testerna visar att den högsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen i utgående biogödsel från efterrötkammarna var 5,6 m³ metan/m³ biogödsel och den lägsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen var 2,5 m³ metan/m³ biogödsel.

Med utgångspunkt från detta spann av kvarvarande metanpotential räknat per m³ biogödsel (1 m³ biogödsel väger cirka 1 ton) och biogödselproduktion på 1,7 miljoner ton under 2015 kan en uppskattning av den totala kvarvarande metanpotentialen i biogödseln från svenska biogasanläggningar göras.

Uppskattningen resulterar i att den kvarvarande metanpotentialen motsvarar 42-100 GWh. Jämförs detta med samrötningsanläggningarnas totala energiproduktion under 2015 på 854 GWh så motsvarar den kvarvarande metanpotentialen i biogödseln 5-12 % av energiproduktionen.

5.4 ÖKAD UTRÖTNINGSGRAD I BIOGASANLÄGGNINGARNA

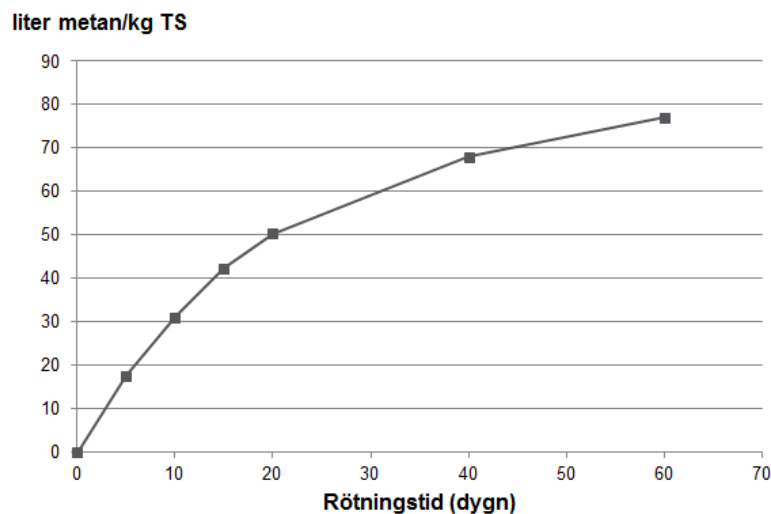
Beräkningen i föregående avsnitt visar att jämfört med den biogasproduktion som samrötningsanläggningarna utvinnet från ingående råvaror så är det relativt lite biogas som finns kvar i biogödseln. För att hela potentialen ska kunna utvinnas krävs lång uppehållstid vid optimal temperatur, försöken har pågått i 60 dagar vid 38°C alternativt 55°C för termofila anläggningar.

Förutom ökad uppehållstid finns det några olika möjligheter för att ytterligare förbättra utrötningsgraden i anläggningarna. I vissa fall är efterrötkammaren inte isolerad, då kan isolering av rötkammaren innebära en ökad biogasproduktion både p.g.a. högre rötningstemperatur men också eftersom temperaturen kan bli stabilare i efterrötkammaren.

Finfördelning av inkommande fasta material kan innebära en snabbare nedbrytning och därmed mindre kvarvarande metanpotential. Eftersom finfördelningen, oberoende av vilken teknik som väljs, kräver energi är det dock inte säkert att energibalansen totalt sett förbättras.

Vid de diskussioner som har förts med de deltagande biogasanläggningarna anges i de flesta fall att en utökad rötkammarvolym och därmed längre uppehållstid är den förändring i biogasanläggningen som bedöms vara mest lämplig. Att komplettera biogasanläggningen med ytterligare en rötkammare/efterrötkammare i serie med befintliga, innebär visserligen en investeringskostnad men driftskostnaden är låg både avseende energibehov och skötsel.

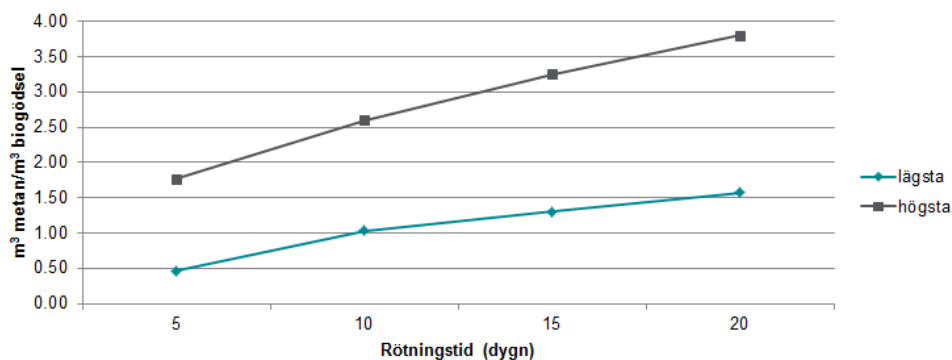
I Figur 5 visas ett exempel på hur gasproduktionskurvan vanligen ser ut vid rötning av biogödsel från efterrötkammaren. Efter 20 dygn har cirka 2/3 av metanproduktionen erhållits. Därefter minskar gasproduktionen men den har inte helt avstannat även efter 60 dygns rötningstid.



Figur 5. Exempel på ett typiskt utseende på gasproduktionskurvan vid rötning av biogödsel från efterrötkammaren.

5.5 INVESTERING OCH LÖNSAMHET

I Figur 6 redovisas data baserade på resultaten från BMP-testerna med biogödsel från sista steget i rötningsanläggningen (i de flesta anläggningar är det biogödsel från efterrötkammaren men i något fall från rötkammaren respektive från biogödsellager med gasuppsamling). Medelvärde av utvunnen metanpotential i de tre försöken som utförts för varje anläggning, har beräknats uttryckt som m³ metan per m³ biogödsel.



Figur 6. Kvarvarande metanpotential från BMP-testerna vid olika rötningstid i de satsvisa försöken. Redovisat som lägsta respektive högsta metanpotential som uppmätts från någon av anläggningarna vid de olika rötningstiderna.

Beräkningen av den kvarvarande metanpotentialen i de satsvisa försöken har gjorts efter rötningstiden 5, 10, 15 respektive 20 dygn. Ytterligare längre uppehållstid och därmed större rötkammarvolym skulle kunna väljas men eftersom metanproduktionen i de satsvisa försöken i de flesta fall avtar ungefär kring 20 dygn (se Figur 5) har bedömningen gjorts att den ökade investeringskostnaden inte motsvaras av intäkten från den gasproduktion som

sker efter 20 dygn. För vissa anläggningar kan även platsbrist göra det praktiskt omöjligt med större rötkammarvolymer.

Variationen i kvarvarande metanpotential i biogödseln från de olika undersökta anläggningarna presenteras som lägsta respektive högsta metanpotential. Under 20 dygns extra rötningstid utvinns alltså mellan 1,6 och 3,8 m³ metan ytterligare beroende på vilken av biogasanläggningar som biogödseln kommer från.

Beräkning av möjlig biogasproduktion baserad på Figur 6 görs för två olika storlekar: en biogasanläggning med en biogödselproduktion på 50 000 m³ per år och en biogasanläggning med en biogödselproduktion på 100 000 m³ per år. I Tabell 2 redovisas värdet på biogasproduktionen vid ett antaget rågaspris på 0,55 kr per kWh (Vestman *et al.*, 2014).

Tabell 2. Intäkt (kronor/år) från tillkommande rågasproduktion vid olika uppehållstid i ny efterrötkammare. Beräkningen görs vid lägsta respektive högsta metanpotentialen enligt BMP-testerna.

Uppehållstid (dygn)	50 000 m ³ biogödsel per år		100 000 m ³ biogödsel per år	
	Lägsta BMP	Högsta BMP	Lägsta BMP	Högsta BMP
5	130 000	490 000	250 000	970 000
10	280 000	710 000	570 000	1 430 000
15	360 000	890 000	720 000	1 790 000
20	430 000	1 050 000	860 000	2 090 000

Investeringskostnaden för att installera ytterligare en efterrötkammare med gaslager har tagits fram för 5 olika lagringsvolym. I bilaga B redovisas underlaget för beräkning av investeringskostnaden. Underlaget har tagits fram av Anders Dahl på adahlkonsult AB. Efterrötkammaren är en emaljerad ståltank med membran-gasklocka. I investeringen ingår betongfundament, 100 mm isolering, omrörare, pump samt ett entreprenadpåslag med 15 % på investeringen. Markarbeten, rördragningar och övrigt som krävs för sammankoppling med befintlig anläggning ingår däremot inte.

Tabell 3. Investeringskostnad (kr) för efterrötkammare med membrangasklocka.

Volym (m ³)	Investeringskostnad (kr)
1000	3 200 000
2000	4 200 000
3000	4 900 000
4000	5 800 000
5000	6 700 000

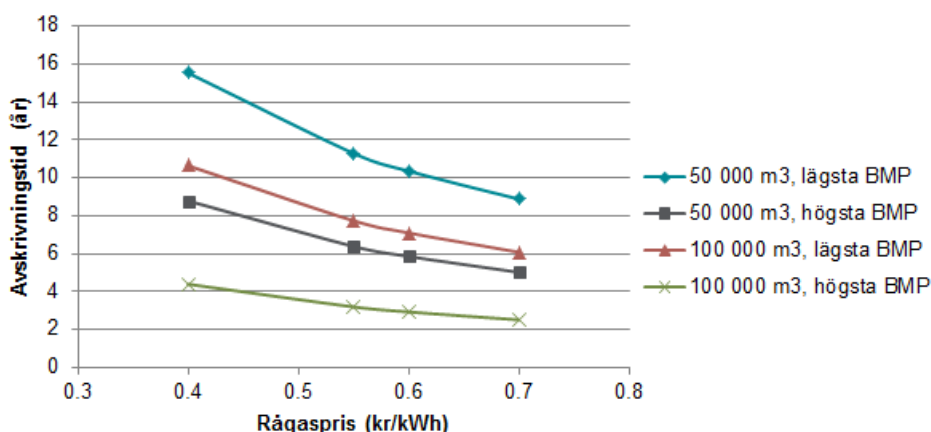
Avskrivningstiden för investering i en efterrötkammare redovisas i Tabell 4 för de två fallen med 50 000 respektive 100 000 m³ biogödsel baserat på lägsta och högsta kvarvarande metanpotential enligt BMP-testerna.

Tabell 4. Avskrivningstid (år) för investering i efterrötkammare enligt tabell 3. (Markarbeten, rördragningar och övrigt som krävs för sammankoppling med befintlig anläggning ingår inte).

Uppehållstid (dygn)	50 000 m ³ biogödsel per år		100 000 m ³ biogödsel per år	
	Lägsta BMP	Högsta BMP	Lägsta BMP	Högsta BMP
5	24,8	7,2	13,8	3,6
10	12,4	6,8	8,6	3,4
15	11,6	6,4	8,0	3,2
20	11,3	6,4	7,7	3,2

För de anläggningar som har den högsta kvarvarande metanpotentialen ligger avskrivningstiden på mellan 3 och 7 år vid ett rågaspris på 0,55 kr/kWh. För investeringen tillkommer platsspecifika kostnader, markarbeten, rördragningar och övrigt som krävs för sammankoppling med befintlig anläggning.

I Figur 7 redovisas en känslighetsanalys där rågaspriset varieras mellan 0,40 och 0,70 kr/kWh vid en investering i efterrötkammarvolym för 20 dygns rötningstid. Beräkningen görs för de två fallen med 50 000 respektive 100 000 m³ biogödsel baserat på lägsta och högsta kvarvarande metanpotential enligt BMP-försöken.



Figur 7. Gaspriset påverkan på avskrivningstiden.

5.6 MILJÖASPEKTER

Vid jämförelse med koldioxid har metan en starkare effekt på klimatet räknat per ton. Sett på hundra års sikt bidrar utsläpp av metan cirka trettio gånger mer till växthuseffekten än ett lika stort utsläpp av koldioxid (Naturvårdsverket 2017).

I Sverige finns sedan 2007 ett program, "Frivilligt Åtagande", som syftar till att biogasanläggningar förbinder sig att kontinuerligt kontrollera sina anläggningar med avseende på metanutsläpp (Avfall Sverige 2017). Lagringsbehållare för biogödseln är en av de delar i en biogasanläggning som kontrolleras avseende metanutsläpp. En hög utröttningsgrad av ingående substrat innebär minskad risk för metanutsläpp från biogödseln samtidigt som det ger en ökad gasmängd som kan ersätta fossila bränslen. På så sätt uppnås dubbel klimatnytta. En hög

utröttningsgrad medför också ett bättre utnyttjande av de substrat som har tillförts biogasanläggningen, vilket bidrar till ett ökat resursutnyttjande.

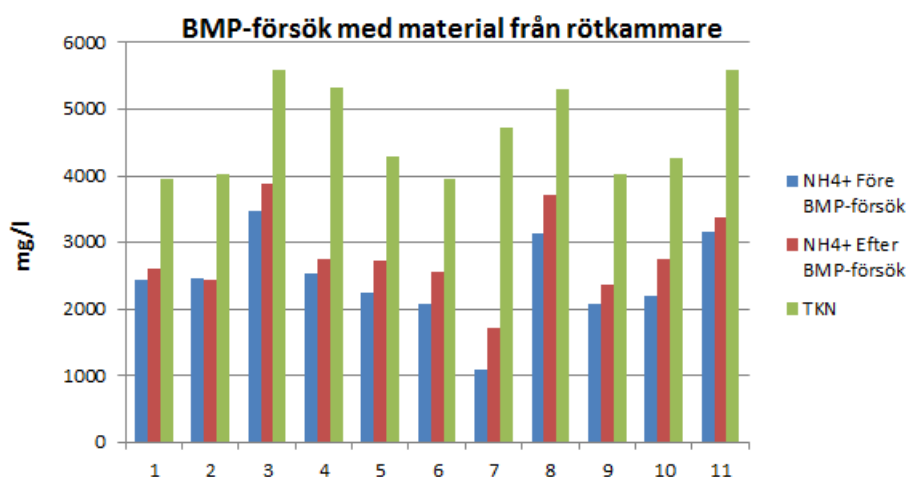
I BMP-testerna på utgående biogödsel från efterrötkammaren har rötningen skett vid en för de metanproducerande bakterierna gynnsam temperatur, 38°C. Den gasproduktion som har erhållits i försöken ska därmed inte likställas med metanutsläpp från biogödsellagringen utan är ett mått på vad som kan finnas kvar att utvinna i biogasanläggningen.

När biogasanläggningar beviljas tillstånd enligt miljöbalken finns det ofta krav på exempelvis efterrötkammare, kylning av utgående biogödsel och täckning av biogödsellagret i syfte att minska risken för metanutsläpp. BMP-testerna visar att efterrötkammaren ofta svarar för en betydande del av rötningen av substraten, speciellt i anläggningar med hög belastning i första steget, se figur 2-4.

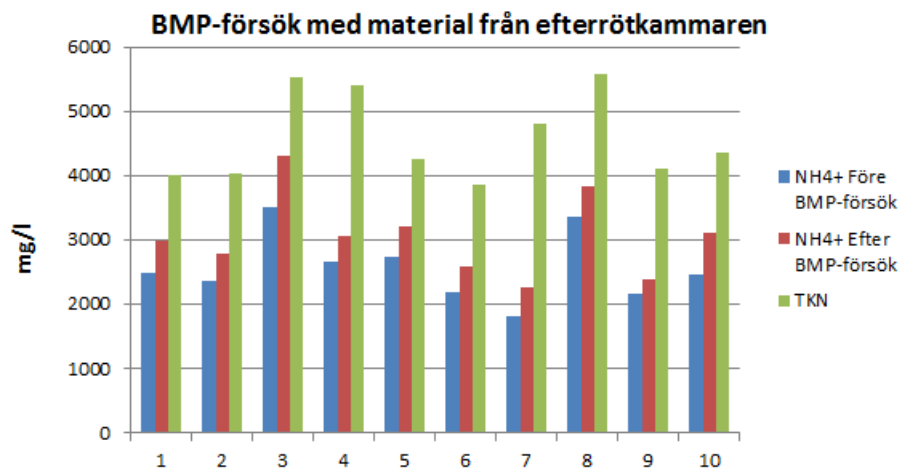
Förutsättningarna för varje biogasanläggning att uppnå hög utröttningsgrad varierar bl. a. med avseende på ingående substrat. I underlaget för att bevilja miljötillstånd bör det framgå på vilket sätt biogasanläggningen säkerställer att god utröttningsgrad uppnås. Detta kan ske genom den tekniska beskrivningen, genom specifika villkor eller genom krav på uppföljning i kontrollprogrammet.

5.7 KVÄVESAMMANSÄTTNING

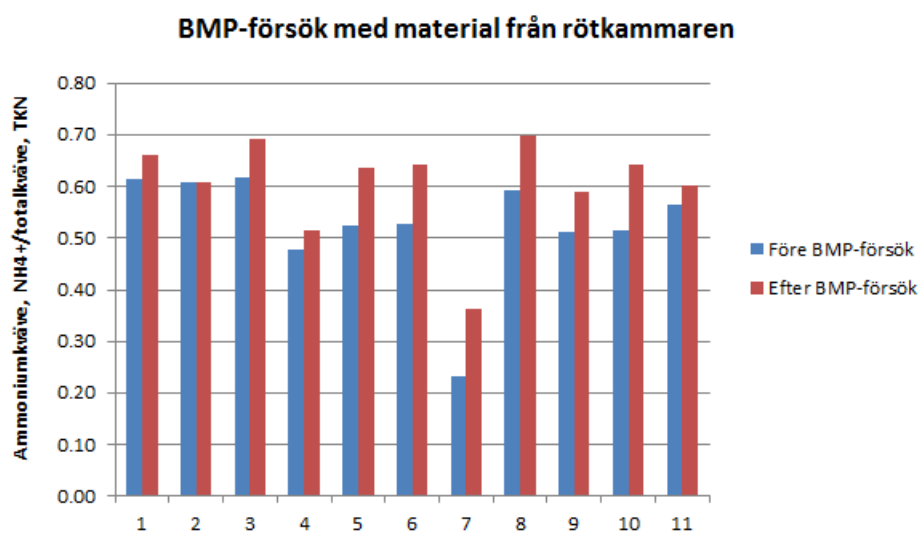
I Figur 8 (biomassa från rötkammaren) och Figur 9 (biogödsel från efterrötkammaren) redovisas hur innehållet av ammoniumkväve (NH_4^+) och totalkväve (TKN) påverkas av en rötningstid på 60 dygn. Vilken påverkan utrötningstiden har på hur stor andel av totalkvävet (TKN) som omvandlats till ammoniumkväve (NH_4^+) redovisas i Figur 10 och i Figur 11.



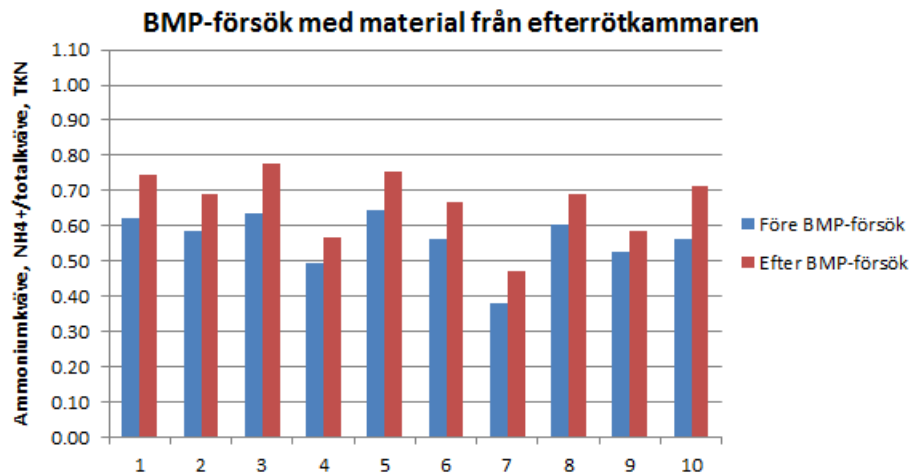
Figur 8. Innehållet av ammoniumkväve (NH_4^+) före och efter utröttningsförsöken samt innehållet av totalkväve (TKN) i biomassa från rötkammaren. Resultaten med beteckningen "Från efterrötkammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i röttningsprocessen.



Figur 9. Innehållet av ammoniumkväve (NH_4^+) före och efter utrotningsförsöken samt innehållet av totalkväve (TKN) i biogödsel från efterrötkammaren. Resultaten med beteckningen "Från efterrötkammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i rötningsprocessen.



Figur 10. Andelen ammoniumkväve (NH_4^+) i förhållande till totalkväve (TKN) före och efter utrotning av biomassa från rötkammare. Respektive anläggning anges med nummer. Resultaten med beteckningen "Från efterrötkammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i rötningsprocessen.



Figur 11. Andelen ammoniumkväve (NH_4^+) i förhållande till totalkväve (TKN) före och efter utrötning av biogödsel från efterrötkammare. Respektive anläggning anges med nummer. Resultaten med beteckningen "Från efterrötkammaren" är från biogödsellager med gasuppsamling om det finns på anläggningen eftersom det är sista steget i rötningsprocessen.

I försöken har andelen ammoniumkväve i genomsnitt ökat från cirka 50 % före utrötningen till cirka 60 % efter utrötningen. Andelen ammoniumkväve efter utrötning av biogödseln från efterrötkammaren varierar från som lägst knappt 50 % till som högst närmare 80 %. Anläggningar med stor andel grödor har generellt lägre andel ammoniumkväve än anläggningar med matavfall och avfall från livsmedelsindustrin. Även efter 60 dygns utrötning överstiger inte andelen ammoniumkväve i anläggningar med stor andel grödor 50 % av totalkvävet.

6 Slutsatser

BMP-testerna visar att den högsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen i utgående biogödsel från efterrötkamrarna var 5,6 m³ metan/m³ biogödsel och den lägsta genomsnittliga kvarvarande metanpotentialen var 2,5 m³ metan/m³ biogödsel. Med en total biogödselproduktion på 1,7 miljoner ton i svenska samrötningsanläggningar under 2015 så uppskattas därför kvarvarande metanpotential enligt BMP-försöken till 42-100 GWh/år. Jämfört med de svenska samrötningsanläggningarnas totala energiproduktion under 2015 på 854 GWh så motsvarar den kvarvarande metanpotentialen 5-12 % av gasproduktionens energiinnehåll.

För att kunna utvinna hela den kvarvarande biogaspotentialen krävs uppehållstider och rötkammarvolymmer som inte är praktiskt och ekonomiskt rimliga. Däremot kan det för en del av biogasanläggningarna vara lönsamt att komplettera med ytterligare rötkammare för att öka uppehållstiden med 5-20 dygn och på så sätt att utvinna mer biogas ur de råvaror som har transporterats till anläggningen. En uppskattning av lönsamheten visar att för de anläggningar som har den högsta kvarvarande metanpotentialen ligger avskrivningstiden på mellan 3 och 7 år vid ett rågaspris på 0,55 kr/kWh. Till investeringen tillkommer platsspecifika kostnader, markarbeten, rördragningar och övrigt som krävs för sammankoppling med befintlig anläggning.

En utökad rötkammarvolym medför även att andelen av kvävet som omvandlas till ammoniumkväve ökar något vilket är positivt för biogödselns värde som gödselmedel. Efter 60 dygns rötning har andelen ammoniumkväve i biogödsel ökat från i genomsnitt 50 % till i genomsnitt 60 %.

Försöken visar att generellt sett så är utgående biogödsel från biogasanläggningarna väl utrotad vilket är av stor betydelse för att risken för metanutsläpp från biogödsellagringen ska vara låg. För vissa anläggningar kan dock, både ur miljömässig och ur ekonomisk synpunkt, en utökad rötkammarvolym rekommenderas.

7 Referenser

- Avfall Sverige 2017, <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/biologisk-aatervinning/roetning/frivilligt-aatagande/>
- Berglund M., 2015, Åtgärder mot metanemissioner från lagring av rötrest, delrapport från "Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå-uppföljning av teknik och metanemissionsfrågor", Hushållningssällskapet Halland
- Eliasson K., 2015, Slutrapport - Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå Hushållningssällskapens Förbund
- Energimyndigheten 2016, Produktion och användning av biogas och rötrest 2015, ES 2016:04
- Naturvårdsverket 2017 <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Darfor-blir-det-varmare/Andra-vaxthusgaser/>
- Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M., Willén A., Nordberg Å., Salomon E., Sundberg M., 2013 Växthusgaser från orötad och rötad gödsel i lager och utspridd på mark samt ammoniakavgång och kornskörd, JTI-rapport Lantbruk & Industri nr. 413 JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Rodhe L., Edström M., Nordberg Å., Tersmeden M., Ascue J., 2016 Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med orötad och rötad gödsel (år1), Jordbruksverksprojekt Dnr: 4.1.18-11570/14 JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Vestman J., Liljemark S., Svensson M., Kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas, SGC-rapport 2014:296

Bilaga A: Analyismetoder

Analyserna utförda av Veolia, Anox Services

Analys	Metod	Enhet	Mätosäkerhet
TS	SS028113-1	%	2,3 %
VS	SS028113-1	%	4,7 %
VS-halt (% av TS)	SS028113-1	%	1,1 %
pH			0,14
NH ₄ -N	ISO 15923-1	mg/l	
TKN	SS-EN 13342*	mg/l alt.mg/kg vv	10 %

*Utfördes av externt laboratorium Eurofins

Bilaga B: Budgetpriser på efterrötkammare med gaslager

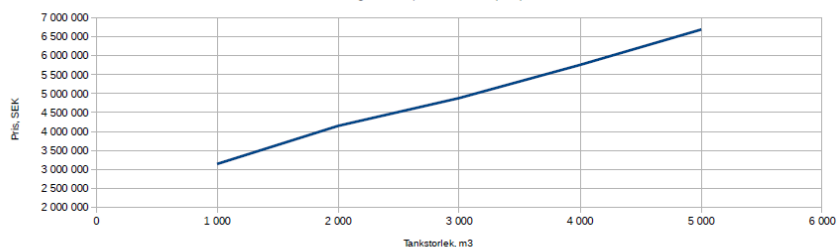
Budgetpriser på efterrötkammare med gaslager

SEK/EUR	9,75
Isolering	80,43 EUR/m²
Betong	769,23 EUR/m³
Entreprenad	15% påslag

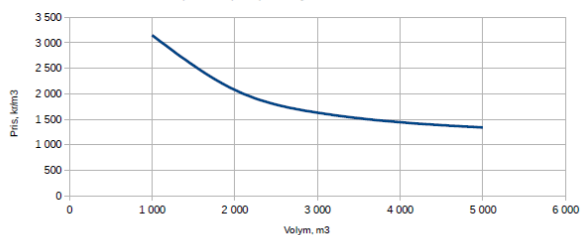
				Priser									
Tankstorlek, m³	Diameter	Höjd	Yta	Tank	Isolering	Gaslager	Fundament	Maskiner	Summa	Tot SEK	Med påslag	Kr/m³	
1 000	12,0	8,7	328	153 100	36 349	38 126	34 799	18 000	280 374	2 733 648	3 143 695	3 144	
2 000	16,0	10,1	509	184 700	50 954	42 211	61 865	30 000	369 730	3 604 865	4 145 595	2 073	
3 000	17,3	12,5	681	222 300	64 779	45 467	72 578	30 000	435 124	4 242 461	4 878 831	1 626	
4 000	20,0	12,5	786	249 900	73 219	53 496	96 664	40 000	513 280	5 004 476	5 755 148	1 439	
5 000	22,7	12,5	891	283 600	81 659	61 827	124 197	45 000	596 283	5 813 755	6 685 818	1 337	

Priser efterrötkammare med membrangasklocka

Isolering 100 mm, omrörare och pump



Specifikt pris per volymenhet reaktor



AD Ahlkonult

KVARVARANDE BIOGASPOTENTIAL I BEFINTLIGA BIOGASANLÄGGNINGAR

Här redovisas ny kunskap om den biogaspotential som finns kvar i biomassa från röt-kammare och i biogödsel efter efterröt-kammare. Målet har varit att få fram biogasanläggningar som är optimerade med tanke på miljö och ekonomi.

Elva anläggningar har deltagit i försöken som har pågått under 2016. Metan-potential har bestämts i laboratorieförsök genom så kallade BMP-tester, Bio-chemical Methane Potential.

Resultaten visar att i förhållande till biogasproduktionen från svenska sam-rötningsanläggningar är den kvarvarande biogaspotentialen i biogödseln rela-tivt liten, mellan 5 och 10 procent. För att kunna utvinna hela denna mängd biogas krävs uppehållstider och röt-kammarvolym som inte är praktiskt och ekonomiskt rimliga.

För vissa biogasanläggningar kan det vara lönsamt att komplettera med ytter-ligare röt-kammare för att öka uppehållstiden och därigenom utvinna mer gas ur de råvaror som har transporterats till anläggningen. En utökad röt-kammar-volym medför också att andelen kväve som omvandlas till ammoniumkväve ökar vilket ökar biogödselns värde som gödselmedel.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se