

Produktion af biogas fra husdyrgødning og afgrøder i økologisk landbrug

Formål

Formålet med undersøgelsen har været at samle erfaringer med biogasproduktion, næringstofflow og energiproduktion af økologisk græs, triticale, vikke, lupin, kvæggylle og dybstrøelse fra kvægstalde.

Materialer og metoder

Batchreaktorer

Forsøgene er udført i 1100 ml infusionsflasker lukkede med butylgummilåg. Flaskerne inkuberes ved $35 \pm 0.5^\circ \text{C}$ efter flushing med N_2 . Inoculum fra biogasreaktorer fra Foulums hovedreaktor har været anvendt. Testmediet er udrådnat med 3 gentagelser.

Gasproduktionen måles efter behov ved fortrængningsprincip, og gasprøver er analyseret for CO_2 og CH_4 med gaskromatograf.

Forskellige former for biomasse er blevet testet ved batchudrådning:

- Økologisk kvæggylle
- Økologisk dybstrøelse
- Økologisk græs
- Blanding af triticale og vikke
- Lupin.

Pilotreaktorer

Forsøget blev udført i en laboratorieskala CSTR reaktor. Reaktorerne bestod af fortank med et volumen på 120 liter og en reaktor med et aktivt volumen på 130 L. Forsøgene blev udført ved termofil udrådning mellem 50 og 53°C , bortset fra lejlighedsvis svigt i termostatstyring. Temperaturen var kontrolleret ved hjælp af varmerør placeret i bunden af rådnetanken. Forsøgene blev udført over fire måneder, hvor reaktoren blev fodret fem dage om ugen. Følgende afgrøder blev testet i pilotreaktorer:

- Økologisk græs
- Blanding af triticale og vikke
- Lupin.

Gasproduktionen blev fulgt løbende, og der blev udtaget prøver to gange om ugen.

Forsøgsreaktorer

Forsøget blev udført i 10 m³ CSTR reaktor med en gennemsnitlig opholdstid på 15 dage og en procestemperatur på 53° C, ved termofil udrådning mellem 50 og 53° C. Reaktoren blev fodret 4 gange dagligt og gasproduktionen målt kontinuert.

Analyser

Indholdet af VFA (Flygtige fedtsyrer) blev bestemt ved hjælp af en gaskromatograf. Total-N blev analyseret med metoden "Kjeldahl" og en Kjell-Foss 16.200 autoanalyser (Foss Electric, Hillerød, Danmark).

Koncentrationen af ammoniak (total NH₄-N) blev bestemt med metoden 'Ammoniak på Nova 60', ved hjælp af spektrofotometeret 'Spektroquant Nova 60'.

Gassammensætning blev målt med infrarøde sensorer til CH₄ og CO₂, og elektrokemiske sensorer til H₂ og H₂S. Indholdet af P, K og mikronæringsstoffer er analyseret med ICP. Indholdet blev bestemt på både frisk og afgasset materiale.

Resultater og diskussion

Økologisk kløvergræs

Det anvendte kløvergræs blev høstet som første slæt i maj 2009 og bestod af en blanding med 9% rødkløver (Rajah), 9% hvidkløver (Amos), 50% rajsvingel (Klondike) og 32% rajgræs (Sibasa og Stefani).

Forsøget forløb over 67 dage. Der blev tilført 1,5 kg græs og 1,5 kg vand per dag. Den hydrauliske opholdstid (HRT) var i gennemsnit 43 dage. Indholdet af tørstof (TS) og organisk tørstof (VS) af græsset var 23,36% og 21,43%. Indholdet af TS, VS og NH₄-N i den afgassede biomasse varierede i løbet af forsøget som vist i tabel 1.

Tabel 1. Tørstofindhold (TS), organisk stof (VS) og total NH₄-N i den afgassede biomasse

Dage efter påbegyndelse	TS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	VS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	T NH ₄ -N (g / L)
21	6,06	48,07	4,12	61,59	3,54
27	5,77	50,61	4,11	61,65	
34	6,33	45,80	4,54	57,68	2,99
41	6,65	43,09	4,91	54,18	
49	7,25	37,93	5,48	48,89	2,35
56	7,32	37,37	5,54	48,25	
64	7,02	39,90	5,35	50,06	2,38

I tabel 2 er indholdet af N, P, K og mikronæringsstoffer i græs og den afgassede biomasse angivet. Tørstofindholdet er lavere end værdierne i tabel 1, hvilket skyldes at prøven er udtaget efter afslutningen af forsøget, hvor biomassen er helt blandet. Beregningen af nedbrydningen er mere nøjagtig ved denne metode, og værdien i tabel 2 derfor mere korrekt. Den høje værdi af Tot N i den afgassede biomasse skyldtes det høje N-indhold i det anvendt inoculum; da eksperimentet startede, var reaktoren næsten helt fyldt med inoculum. Det økologiske græs er testet i to måneder med en HRT på 43 dage. Dette har givet anledning til ophobning af N i systemet og har haft indflydelse på indholdet af restkoncentrationer.

Tabel 2. Indholdet i N, P, K og mikronæringsstoffer i græs og den afgassede biomasse

Substrat							Næringsstoffer				
	TS-indhold %	Nedbrydning %	NDF %	IVOS %	Tot N	NH ₄ -N	P kg/ton	K kg/ton	Ca	Mg	Cu g/ton
Uomsat	23,36	64,9	40,5	82	4,82	0	0,49	4,42	-	-	-
Afgasset	4,10				4,27	2,85	0,22	3,25	1,06	0,304	1,2

Triticale og vikke

En blanding af triticale (60% antal frø) og vikke (40% antal frø) blev testet. Forsøget forløb over 121 dage, hvor reaktoren blev fodret fem dage om ugen med 3 kg per dag. 50% af den indfødte mængde var afgrøde og 50% vand. Den hydrauliske opholdstid (HRT) var i gennemsnit 43 dage.

Indholdet af TS og VS i uomsat biomasse var hhv. 21,2% og 19,5%. I den afgassede biomasse varierede indholdet af TS og VS i løbet af forsøget, som vist i tabel 3.

Nedbrydning af TS og VS viser høj fordøjelighed af dette substrat.

Tabel 3. Tørstofindhold (TS), organisk stof (VS) og total NH₄-N i den afgassede biomasse

Dage efter påbegyndelse	TS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	VS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	T NH ₄ -N (g / L)
14	2,09	80,24	1,40	85,70	1,37
20	1,91	82,00	1,20	87,65	
27	1,77	83,33	1,08	88,95	1,53
35	1,49	85,95	0,81	91,68	
42	2,61	75,39	1,83	81,20	1,46
50	2,30	78,31	1,46	85,01	
56	1,71	83,83	1,00	89,80	1,53
64	1,77	83,29	1,01	89,67	
70	1,70	83,94	1,00	89,77	1,59
77	1,68	84,12	1,00	89,73	
84	2,02	80,90	1,31	86,59	1,60
108	1,99	81,24	1,36	86,01	1,76

I tabel 4 ses indholdet i N, P, K og mikronæringsstoffer af uomsat og afgasset biomasse. Prøven af afgasset biomasse blev indsamlet ved afslutningen af forsøget.

Tørstofindholdet af afgasset biomasse er højere end de værdier, der ses i tabel 3. De resultater, som fremgår af tabel 4, er de mest korrekte.

Tabel 4. Indholdet i N, P, K og mikronæringsstoffer i triticale og den afgassede biomasse

Substrat							Næringsstoffer				
	TS-indhold %	Nedbrydning %	NDF %	IVOS %	Tot N	NH ₄ -N	P kg/ton	K kg/ton	Ca	Mg	Cu g/ton
Uomsat	21,18	59,9	65,37	52,65	4,39	-	0,54	3,37	-	-	-
Afgasset	4,24		-	-	2,62	1,71	0,26	1,58	1,14	0,303	1,0

Lupin

Gul lupin er blevet afgasset over en periode på 64 dage. Reaktoren blev fodret fem dage om ugen med 3 kg per dag. 50% af indfødt mængde var afgrøde og 50% vand. Den hydrauliske opholdstid (HRT) var i gennemsnit 43 dage.

Indholdet af TS og VS i uomsat biomasse var hhv. 17,39% og 16,22%. I den afgassede biomasse varierede indholdet af TS og VS i løbet af forsøget, som vist i tabel 5. TS og VS viser en stigende nedbrydning af substratet hen mod slutningen af perioden.

Tabel 5. Tørstofindhold (TS), organisk stof (VS) og total NH₄-N i den afgassede biomasse

Dage efter påbegyndelse	TS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	VS-indhold (%)	Nedbrydning (%)	T NH ₄ -N (g / L)
14	4,91	43,49	3,66	54,92	2,30
21	5,41	37,78	4,14	48,91	
28	4,27	50,93	3,18	60,84	2,21
52	2,67	69,24	1,89	76,76	2,09

I tabel 6 er angivet indholdet i N, P, K og mikronæringsstoffer i den uomsatte og i den afgassede biomasse.

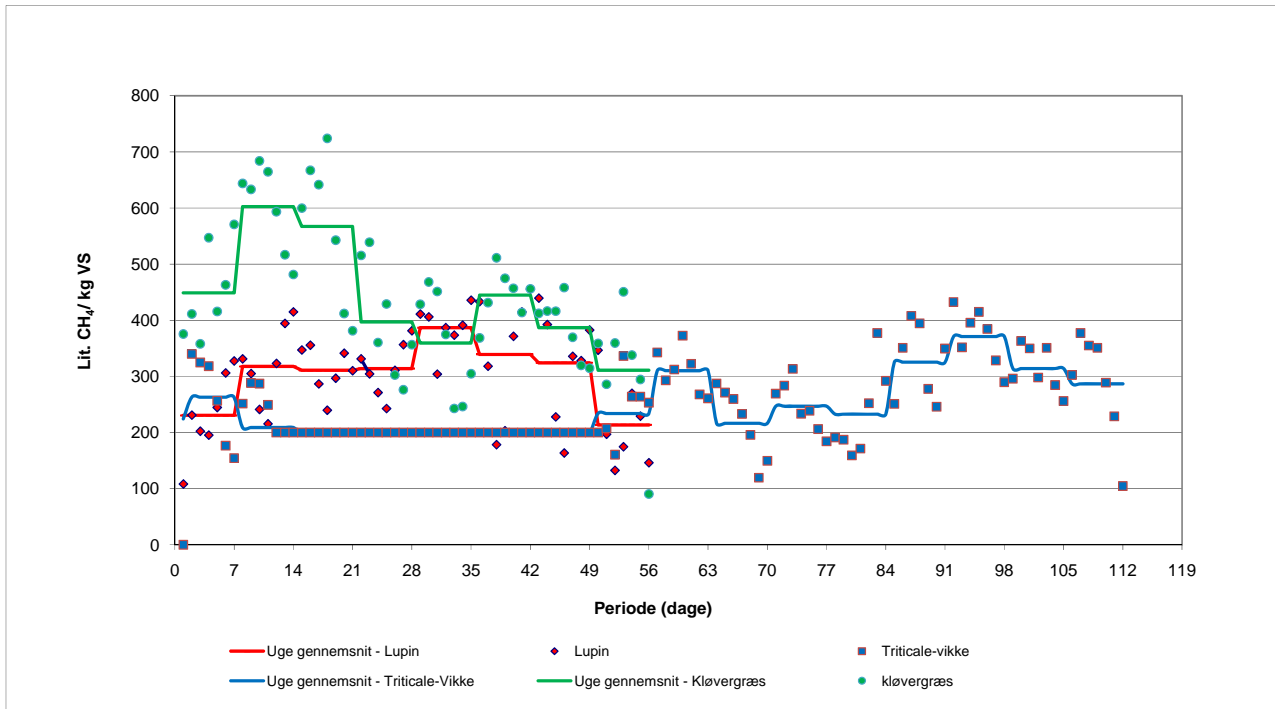
Tabel 6. Indholdet i N, P, K og mikronæringsstoffer i lupin og den afgassede biomasse

Substrat							Næringsstoffer				
	TS-indhold %	Nedbrydning %	NDF %	IVOS %	Tot N	NH ₄ -N	P kg/ton	K kg/ton	Ca	Mg	Cu g/ton
Uomsat	17,39	64,69	40,65	72,06	4,18	ND	0,35	2,20	-	-	-
Afgasset	3,07				2,90	2,08	0,22	1,73	0,99	0,295	0,70

Procesforløb i forsøg med afgrøder

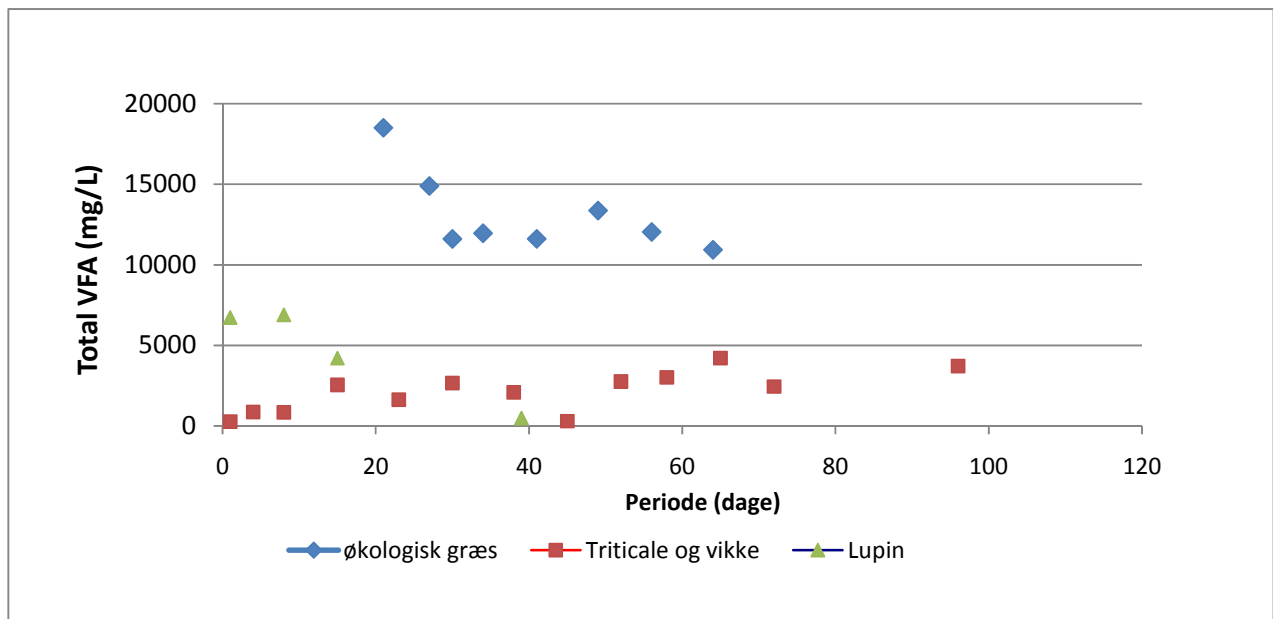
Gasproduktion omregnet til liter metan per kg organisk stof i løbet af forsøget er illustreret i figur 1. Produktionen fra kløvergræsset er højere end fra lupin og triticale/vikke

blandingen. Specielt i starten af forsøget er udbyttet fra græsset højt, hvilket formodentligt skyldes at der har været stort restgaspotentiale i det anvendte podemateriale. I slutningen af forløbet stabiliserer udbyttet sig på et niveau over de 300 l CH₄/kg VS. De øvrige biomasser giver begge et udbytte omkring de 300 l CH₄/kg VS i forsøgsperioden.



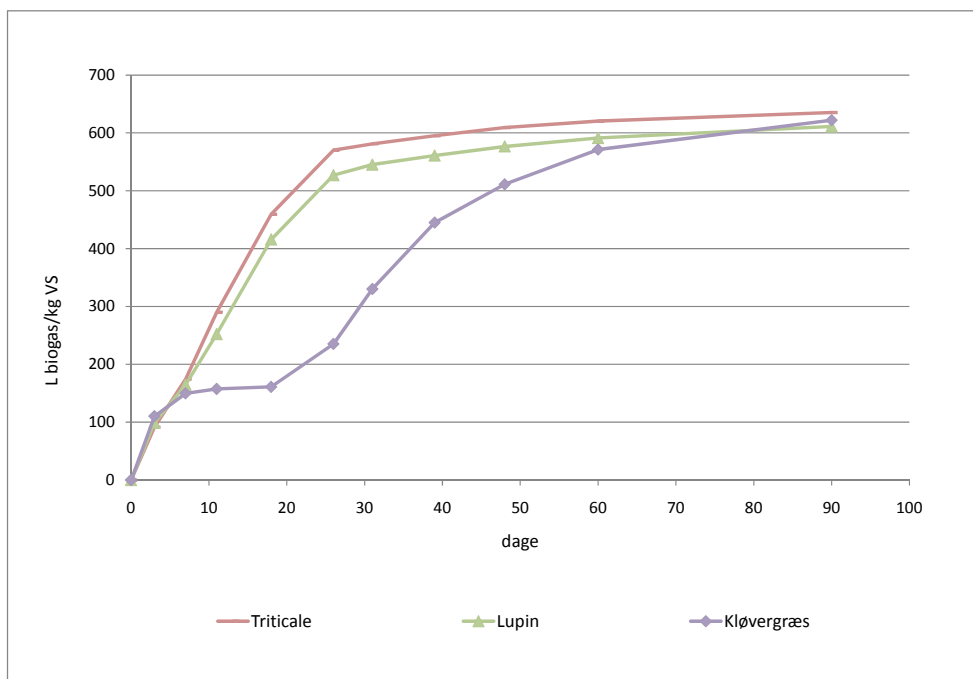
Figur 1. Gasproduktion omregnet til liter CH₄/kg VS. I perioden dag 10-50 var gasmålingen i forsøget med triticale upålidelig, og produktionen er derfor anslået ud fra få målinger

I forsøget blev processtabiliteten i reaktorerne vurderet ved måling af fedtsyreindholdet (VFA). Indholdet af VFA under forsøget er illustreret i figur 2. Generelt er et lavt VFA indhold udtryk for en god omsætning og en stabil proces. Lupin og triticale/vikke havde gennem det meste af forløbet et lavt indhold af VFA, hvilket indikerer en stabil proces, medens indholdet af VFA i reaktoren med græs havde et højt indhold, hvilket indikerer en vis hæmning af processen, sandsynligvis pga. forholdsvis højt NH₃ indhold. Til trods for dette var metanudbyttet højt. Det vil dog næppe være muligt at belaste reaktoren yderligere.

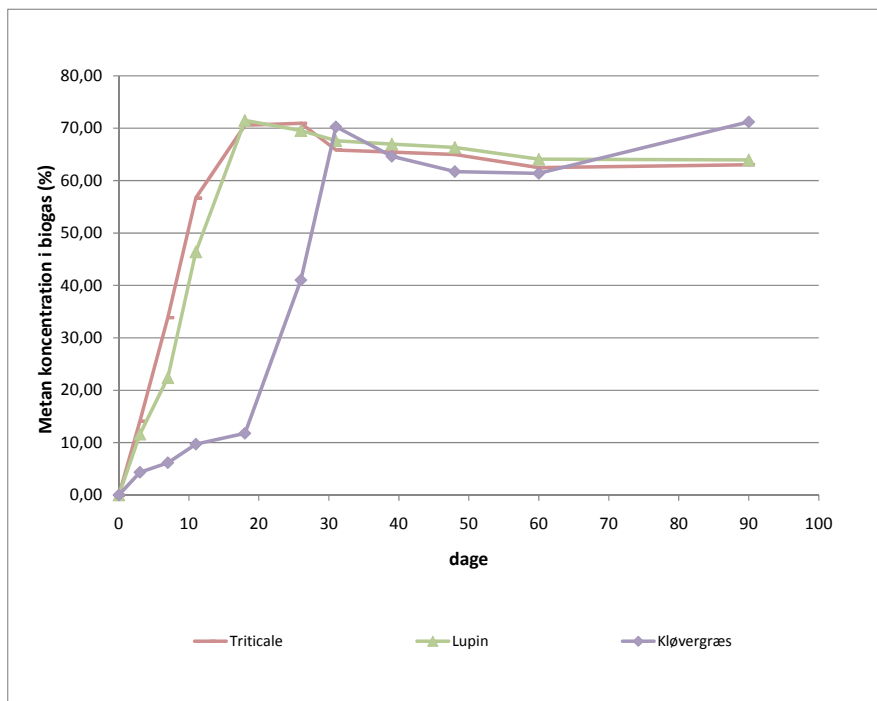


Figur 2. Indholdet af flygtige syrer (VFA) i den afgassede biomasse

Udover de kontinuerte reaktorforsøg blev der udført batchforsøg af afgrøderne. Resultaterne af batchudrødning er vist i figur 3. Det akkumulerede udbytte er stort set det samme i alle afgrøderne, men græsset er længe om at komme i gang, hvilket indikerer en hæmning af processen. Det fremgår endvidere af figur 4, at metanindholdet i biogassen er lavere i den første periode ved omsætningen af græsset, medens det stiger hurtigere i de andre afgrøder. Dette indikerer en hæmning i forsøget med græs.



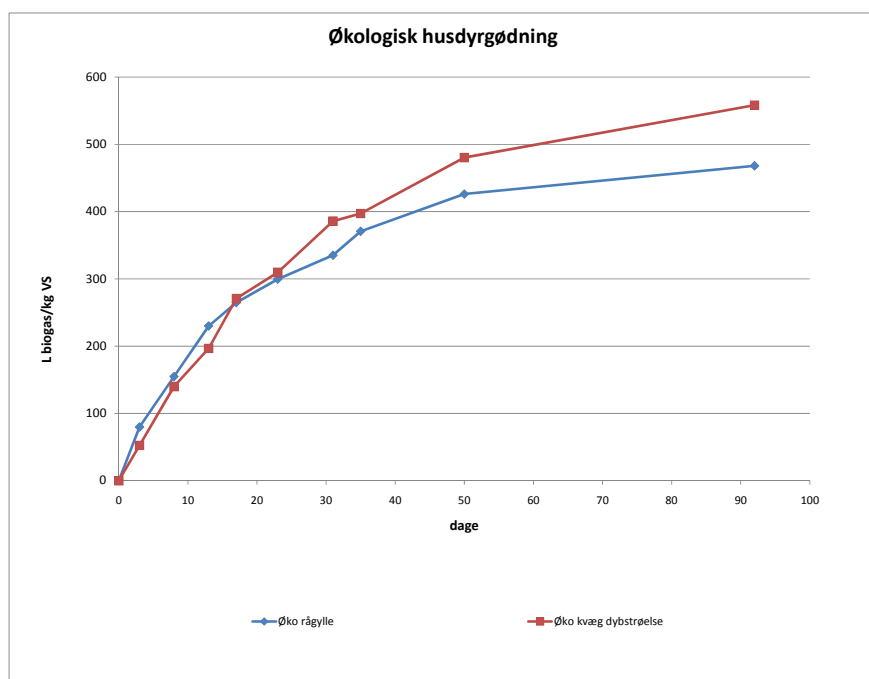
Figur 3. Gasproduktion omregnet til liter biogas/kg VS ved batchudrødning



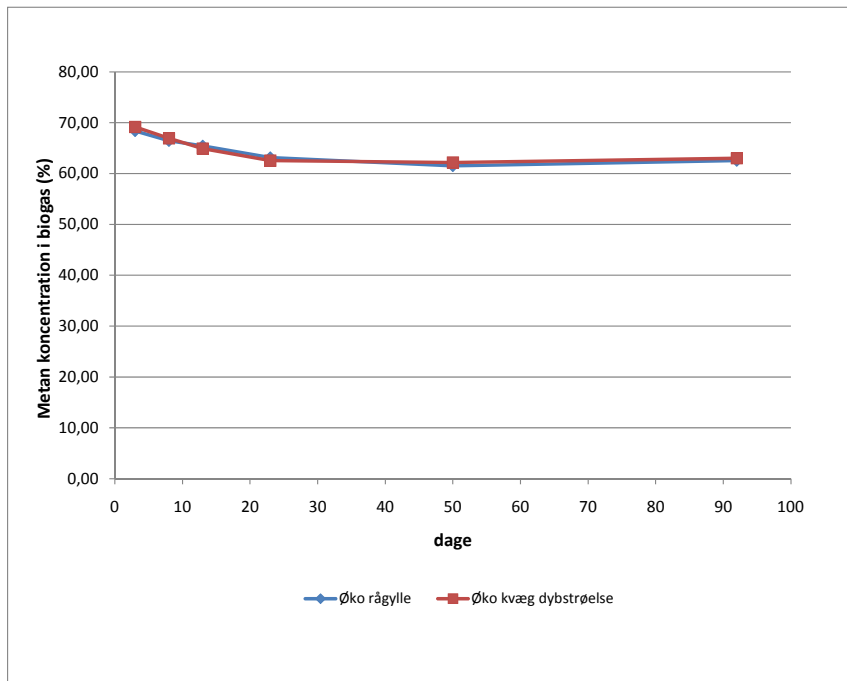
Figur 4. Metanindholdet i biogas under batchudrødning

Procesforløb i forsøg med husdyrgødning

Der blev udført forsøg med batchudrødning for at bestemme gaspotentialt, og i kontinuerede reaktorer for at bestemme procesforløb. Gasudbytte ved batchudrødning er illustreret i figur 5, og metanindholdet i biogassen er vist i figur 6. Metanindholdet i biogassen er identisk i de 2 gødningstyper.



Figur 5. Gasproduktion omregnet til liter biogas/kg VS ved batchudrødning



Figur 6. Metanindholdet i biogas under batchudrødning

Det fremgår af figur 5, at det akkumulerede biogasudbytte i gylle og dybstrøelse er hhv. 468 og 558 liter biogas/kg VS eller hhv. 294 og 351 liter CH₄/kg VS ved et gennemsnits metanindhold i biogassen på 63%. Udbyttet var således højest i dybstrøelsen, men i begge produkter er udbyttet væsentligt højere end de ca. 200 liter CH₄/kg VS, der er normen for konventionel kvæggylle.

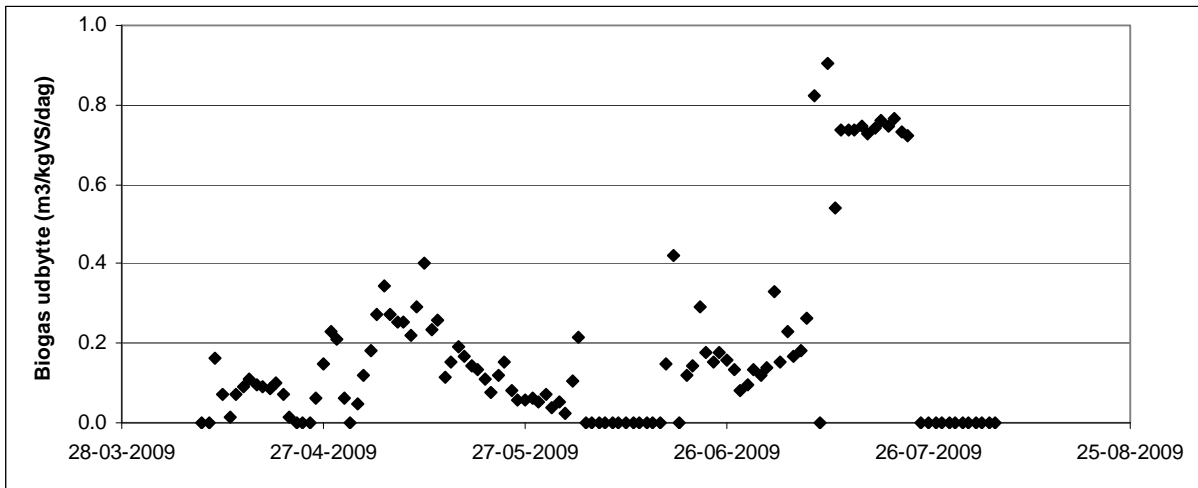
Tabel 6. Indholdet af TS og VS samt biogas og metanudbytte

	TS-indhold %	VS-indhold %	Metan udbytte L CH ₄ /kg VS	Biogas udbytte L/kg VS
Kvæggylle	7,27	5,89	294	468
Dybstrøelse	56,89	40,0	351	558

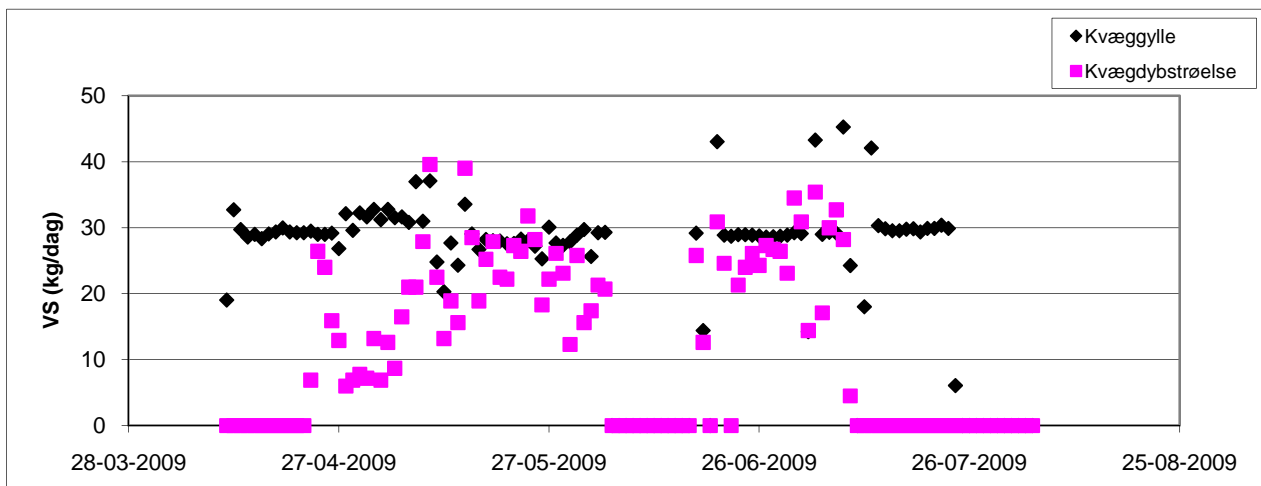
Omsætning af organisk kvæggylle og dybstrøelse blev udført i 10 m³ kontinuert reaktor, der opererede ved 52° C med en hydraulisk opholdstid på 16-18 dage.

Biogasudbyttet var forholdsvis lav i forsøget. Dette førte til vanskeligheder med måling af biogasflow, da det var lavere end gasmålere var i stand til at måle.

Figur 7 viser biogasudbytte pr kg tilsat organisk stof. Figur 8 viser den daglige organiske belastning af gylle og dybstrøelse.



Figur 7. Biogasudbytte af økologisk husdyrgødning



Figur 8. Daglig tilførsel af organisk stof i husdyrgødning

Tilsætning af dybstrøelse, udover gylle, øgede biogasudbyttet fra 0,1 m³ pr kg VS tilført til 0,3 m³ pr kg VS tilført. Efter nogle tekniske problemer i begyndelsen af juni fortsatte forsøget i slutningen af måneden, og biogasudbyttet var herefter ca. 0,15 m³ pr kg VS tilført.

Stigningen i biogasudbyttet til 0,75 m³ pr kg VS tilført i juli kan tilskrives ophør med tilsætning af dybstrøelse. Dette har reduceret belastningen, og den relativt høje gasproduktion må tilskrives dybstrøelse tilført før juli måned.

Generelt vurderes, at gasproduktionen i de kontinuerte forsøg er underestimeret. Årsagen er, at produktionen har været i den lave ende af gasmålerens måleområde.