

EVALUERINGSRAPPORT BIOGAS



Bæredygtig
bioenergi

Evalueringsrapport

Biogas

Af:	Inger Bertelsen	Videncentret for Landbrug
	Helena Bredin	Innovatum
	Tormod Briseid	Bioforsk
	Johan Emanuelsson	Naturbrugsgymnasiet Sötåsen
	Peter Eriksson	Innovatum
	Kristian Fjørtoft	Universitetet for miljø- og biovitenskap
	Kjell Gustafsson	Agroväst
	Lars-Gunnar Johansson	Biogas Väst
	Thomas Vang Jørgensen	LandboMidtØst
	Henrik Møller	Aarhus Universitet
	Kasper Stefanek	AgroTech

Redaktør: Tormod Briseid, Bioforsk
Koordinator i BioM for netværket Biogas

Projektleder: Hanne Bang Bligaard, AgroTech

INDHOLD

Velkommen til biom-projektet	5
1. Indledning.....	7
2. Gødningsværdi af afgasset enggræs.....	9
3. Skörd, indhentning, lagring och förbehandling av biomassa	15
4. Biogasforsøg.....	27
5. Økologisk biogaslinje	37
6. Økologisk biogas / gødningsanlæg	41
7. Procesteknik til forbehandling af halm	45
8. Teknik för pumpning av gödsel i ledning	55
9. Teknik för transport av biogas i ledning	61
10. Udvikling af online måle- og registreringsteknik for spredning af gödsel af afgasset biomasse	67
11. Opgradering af biogas till fordonsbränsle	75
12. Driftsøkonomiske kalkylmodeller fra biogasproduktion till användning.....	85
13. Biogas demonstrationsanlæg på gårdniveau til uddannelse og rådgivning	87

1. VELKOMMEN TIL BIOM-PROJEKTET

Hanne Bang Bligaard

De nordiske lande har sat konkrete mål for hvor stor en andel af energiforbruget, der fremadrettet skal komme fra vedvarende energi. For at nå målene kræves der øget viden om elementer i hele værdikæden for produktion af bioenergi. Alt sammen for at finde metoder, der sikrer optimal udnyttelse af arealer og en effektiv storskala energiproduktion, vel at mærke uden at konflikte med produktionen af fødevarer.

BioM projektet er et samarbejde mellem svenske, danske og norske partnere om den fælles udfordring at udvikle og demonstrere nye dyrkningsystemer og teknologier til biogasproduktion og til produktion af energipil – begge baseret på miljøfølsomme arealer.

Storskala produktion af biomasse fra miljøfølsomme områder kræver nemlig udvikling af dyrkningsmetoder og forretningsmodeller, der arbejder med mange led i værdikæden, fra høst, logistik, forbehandling, lagring, bearbejdning i biogasanlæg til distribution og afsætningskanaler.

Aktiviteterne i projektet har været organiseret i tre transnationale netværk:

- Marginale Jorder och Odlingssystem
- Energipil på miljøfølsomme områder
- Biogasproduktion, opgradering og anvendelse.

Denne organisering har sikret et nært og udbytterigt samarbejde på tværs mellem de tre lande og mellem de mange deltagere i projektet.

Finansiering

BioM (Odling för bioenergi, vattenmiljö och markvård) blev delfinansieret af Europæisk Regional Udviklingsfond og er en del af Interreg IVA Øresund- Kattegat-Skagerak programmet. Øvrige finansieringskilder var Region Midtjylland, Västra Götalandsregionen og Länsstyrelsen.

Vil du vide mere?

Mange resultater fra projektet er offentliggjort, demonstreret og bragt i anvendelse allerede undervejs i projektet. Denne publikation er en del af den afsluttende rapportering fra projektet.

Alle rapporter og vejledninger er frit tilgængelige og kan downloades fra hjemmesiden www.agrotech.dk/biom.

Tak for samarbejdet

Et projekt som BioM kan kun gennemføres, når mange forskellige mennesker, institutioner og bevillingsgivere lægger interesse, vilje og indsats bag projektet. Jeg vil gerne rette en stor tak til alle, der har bidraget til projektets etablering og gennemførelse og ikke mindst til de landmænd, virksomheder og rådgivere, der står klar til at bruge erfaringerne og resultaterne i produktionen af bæredygtig energi.

Kathrine Hauge Madsen og Anke Stubsgaard – begge VFL, Økologi – har ydet en uvurderlig indsats i forbindelse med projektets udvikling og start.

Hanne Bang Bligaard

1. INDLEDNING

Tormod Briseid, Bioforsk

Både i Sverige, Danmark og Norge arbeides det politisk og kommersielt med å øke produksjonen av bæredyktig energi og gi jordbruket en viktig rolle ved å bidra med fornybar energi vid siden av matproduksjonen.

Prosjektet "Odling för bioenergi, vattenmiljö og markvård - BioM" skal styrke og knytte Kattegat-Skagerrak-regionen sammen på bioenergiområdet og samtidig forbedre miljøet i sjøer og vassdrag. Derfor utvikler BioM økonomisk og miljømessig bæredyktige storskala biomasseproduksjoner til energiformål, som ikke konkurrerer med matproduksjonen. Det er samlet mye erfaring og utviklet kunnskap i partnerlandene innen biomasse og biogass, men dette har enda ikke ført til et avgjørende gjennombrudd. På denne bakgrunn ble dette prosjektet etablert for i fellesskap å identifisere de nødvendige forutsetninger for å få dette til.

Prosjektets resultater er presentert i de tre rapportene "Evalueringsrapport Marginale Jorder och Odlingssystem", Evalueringsrapport Pil" og denne rapporten "Evalueringsrapport Biogas". I denne rapporten vektlegges innhenting, forbehandling og lagring av biomasse, selve biogassprosessen, gassutbytte, samt spredning av produsert gjødsel og gjødselens gjødselverdi. Det legges spesiell vekt på økologisk basert gjødsel. Videre sees det på teknikker for transport av gjødsel og biogass i ledning samt metoder for oppgradering av biogass til kjøretøykvalitet. For å lykkes er det av avgjørende betydning at dette er økonomisk forsvarlig for den enkelte aktør, og det er derfor utarbeidet en driftsøkonomisk modell for i størst mulig grad å kunne forutsi de økonomiske forutsetningene.

En stor takk rettes til alle som har medvirket til dette arbeidet, gjennom et omfattende forsøks- og dokumentasjonsarbeide, deltakelse i seminarer, studiereiser og arbeidsgrupper og, for ikke å glemme, de mange viktige diskusjoner vi har hatt. Arbeidet har på alle måter styrket vårt samarbeide over landegrensene og det har vært en glede å være koordinator for den transnasjonale gruppen for biogass innen BioM.

2. GØDNINGSVÆRDI AF AFGASSET ENNGRÆS

Inger Bertelsen, Henrik B. Møller og Peter Sørensen

2.1 Sammendrag

Omfanget af forsøgsarbejdet har været for lille til at fastslå et helt konkret værdital for afgasset enggræs. Resultaterne fra de to år er meget forskellige, men størst vægt må lægges på forsøgene fra 2011, hvor der ikke har været forsøgstekniske forskelle mellem udbringningsmetoderne for de forskellige gødninger. I dette forsøg har den afgassede enggræs haft et værdital mindst på niveau med kvæggylle. Til forsøgene er enggræsset afgasset i blanding med vand. I praksis vil enggræsset blive afgasset i blanding med gylle. Det må forventes, at i en sådan mere optimal proces vil resultatet være en gødning med mindst lige så godt værdital som kvæggylle, men der er behov for, at dette undersøges forsøgsmæssigt når anlægget er taget i brug og producerer afgasset biomasse.

2.2 Introduktion

I samspillet mellem eng, biogasanlæg og økologisk produktion er det væsentligt, at de økologiske landmænd kender den afgassede biomasses næringsstofindhold og den forventede førsteårs udnyttelse af kvælstofindholdet i gødningen. Gødningsværdien af den afgassede biomasse har betydning for hvilken værdi den skal tillægges hos en økologisk landmand, som er aftager af dette produkt (Bertelsen, 2012). I forsøgene sammenlignes afgasset enggræs gødningsmæssigt med kvæggylle.

2.3 Materialer og metoder

Forsøg med afgasset enggræs er gennemført i 2011 og 2012, men på to forskellige måder. I 2011 er der som planlagt gennemført forsøg i økologiske landmænds marker, mens der i 2012 er gennemført forsøg hos Aarhus Universitet. Forsinkelse i etableringen af økologisk biogas i storskala gjorde, at der ikke var produceret de tilstrækkelige mængder gødning til gødningsforsøg i 2012. I begge år er der anvendt en afgasset biomasse udelukkende produceret på enggræs og vand. Det vil ikke være den gødning de økologiske landmænd vil få tilbudt, idet der i denne også vil indgå husdyrgødning og anden afgrødemasse, hovedsageligt kløvergræs.

2011

Der blev anlagt to forsøg i regi af Økologiske Markforsøg hos en økologisk landmand. Det praktiske forsøgsarbejde er gennemført af LandboMidtØst og AgroTech. I forsøgene blev der anvendt svinegylle i forskellige doseringer til at beskrive udbyttekurven. På denne kurve kan de tre gødningsmidler kvæggylle, afgasset enggræs og afgasset lupin indplaces. Gødning til forsøgene blev produceret af enggræs og vand i testanlæggene på Aarhus Universitet.

Tabel 2.1. Indhold i gødninger anvendt i begge forsøg i 2011.

	Gylle, svin	Gylle, kvæg	Afgasset enggræs	Afgasset lupin
Tørstof, pct.	5,6	7,3	6,5	3,0
Total-N, kg/ton	6,0	3,3	3,8	3,0
NH ₄ -N, kg/ton	4,5	1,5	2,0	1,9
P, kg/ton	1,1	0,5	0,6	0,4
K, kg/ton	3,4	4,4	2,3	1,9
NH ₄ -N andel af total N, pct.	75	45	53	63
pH	7	7	7	7,5

Tabel 2.2 Forsøgsbehandlinger. Anlagt som split-plot forsøg med 2 faktorer og 4 gentagelser.

Faktor 1		
Led	Behandling, (faktisk tildelt mængde)	Specifikation
1	Ingen organisk gødning	
2	40 kg NH ₄ -N (51 kg NH ₄ -N)	Gylle, svin
3	80 kg NH ₄ -N (86 kg NH ₄ -N)	Gylle, svin
4	120 kg NH ₄ -N (131 kg NH ₄ -N)	Gylle, svin
5	160 kg NH ₄ -N (171 kg NH ₄ -N)	Gylle, svin
6	80 kg NH ₄ -N (93 kg NH ₄ -N)	Gylle, kvæg
7	80 kg NH ₄ -N (88 kg NH ₄ -N)	Afgasset enggræs
8	80 kg NH ₄ -N (76 kg NH ₄ -N)	Afgasset lupin
Faktor 2		
Led	Behandling	Specifikation
A	Havre	400 spiredygtige kerner pr. m ²
B	Vårbyg	350 spiredygtige kerner pr. m ²

Forsøgene blev anlagt i økologisk dyrkede marker med vårsæd. Arealet blev stubharvet kraftigt i 10 cm dybde forud for nedfældning af gyllen. Målet var, at jorden var så løs, at jorden nemt dækker gyllen efter nedfældning. Efter nedfældning af gyllen blev arealet pløjet, efter at gyllen har haft tid til at trænge ind i jorden. Der er ikke kørt i parcellerne i forbindelse med udbringningen af gødningen.

2012

I 2012 var det ikke muligt at producere en tilstrækkelig mængde afgasset enggræs til at gennemføre markforsøg hos økologiske landmænd. For at kunne undersøge værditallet blev det afgassede enggræs derfor medtaget i et forsøg under konventionelle forhold. Forsøget blev anlagt på Foulumgård i vårbyg (300 spiredygtige planter pr. m²) med forfrugt vårbyg. Hele forsøget blev grundgødet med PKS gødning. Og der blev anvendt en mineralisk kvælstofgødning til at bestemme responskurven.

Tabel 2.3 Forsøgsbehandlinger. Forsøget blev anlagt med 4 gentagelser.

Led	Behandling	Specifikation
1	Ingen organisk gødning	
2	40 kg N	Mineralsk N
3	80 kg N	Mineralsk N
4	120 kg N	Mineralsk N
10	120 kg N	Biogasgylle, nedfældet med forsøgsnedfælder
11	120 kg N	Biogasgylle, nedfældet med forsøgsnedfælder
12	57 kg N	Afgasset enggræs, simuleret slangeudlægning med vandkande og hurtig nedpløjning*

* kunne ikke nedfældes med forsøgsnedfælder pga. begrænset mængde

Afgasset enggræs gødning

Enggræs blev opblandet i vand i forholdet 1:7, hvilket var nødvendigt for teknisk at kunne frembringe en gødning på rent enggræs.

Næringsstoffer i afgasset enggræs (kg/ton): Total N=1,64, NH₄-N=0,66, Total P=0,19 og K=0,92. pH=6,9. I det rene enggræs inden afgasning var der (kg/ton): Total N=13,5, NH₄-N=0, Total P=1,5 og K=4,1.

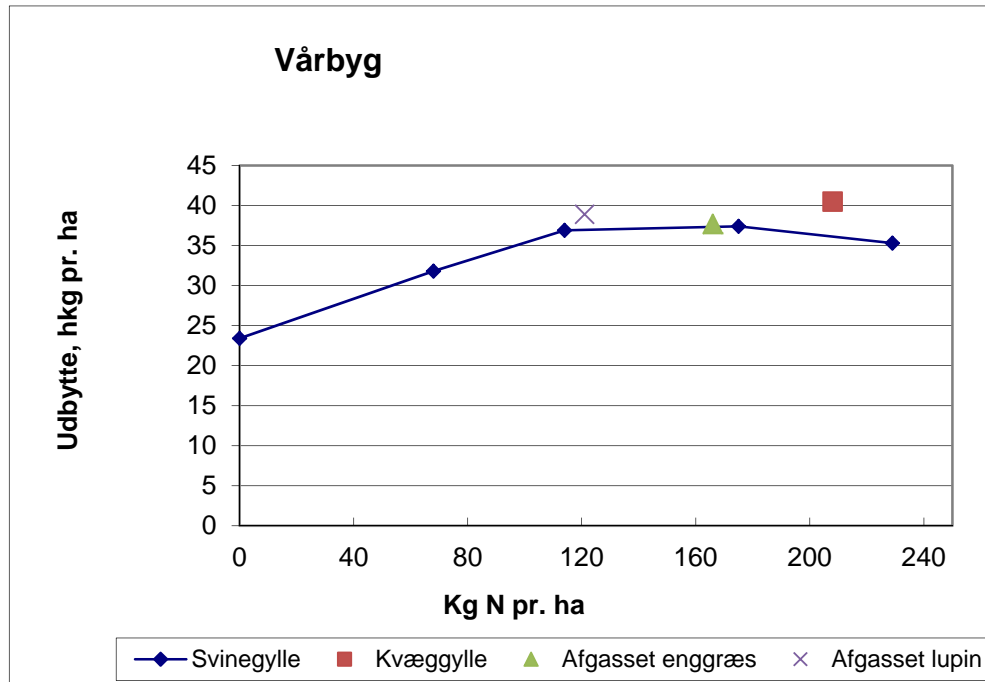
2.4 Resultater

2011

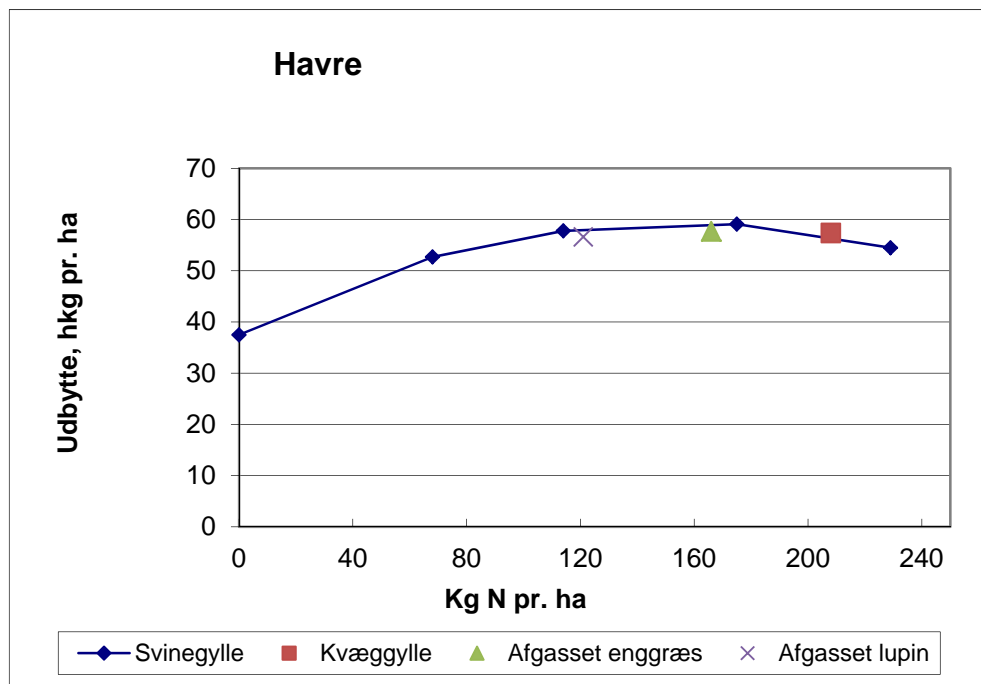
Forsøg 1

Forsøget var placeret i en vårbygmark med forfrugt markært på JB 2 (finsandet jord). Der var i foråret

inden pløjning foretaget ukrudtsharvning 1. marts og 1. april. Der blev pløjet og sået den 28. april. Der var 102 kg mineraliseret N pr. ha (N-min) i 75 cm prøvedybde forud for pløjning. Der var en god fremspiring og ingen sygdomsangreb og et lavt ukrudtstryk i forsøget. Der var en del lejesæd i forsøget før høst, mest i havren ved de højeste gødningsniveauer og i vårbyg ved de høje gødningsniveauer i svinegylle, men ikke ved de andre gødninger. Forsøget var således meget velegnet til at vise effekten af de forskellige gødningstyper. I figur 2.1 og 2.2 er vist udbytte pr. ha som funktion af den tildelte gødningsmængde i kg total N pr. ha. Grafen viser responskurve for stigende mængde svinegylle. I vårbyg (figur 2.1) ligger afgasset enggræs lige på kurven for svinegylle, mens afgasset lupin og kvæggylle ligger lidt over. I havre ligger alle tre gødninger meget tæt på kurven. Ved beregning af værdital er der kun anvendt den del af referencekurven, hvor der er stigende udbytte for tildeling af kvælstof. Værditallet er beregnet for forsøget, til ca. 70 pct. for kvæggylle og afgasset enggræs i vårbyg og til 51 pct. for kvæggylle og 64 pct. for afgasset enggylle i havre. I begge tilfælde er det beregnet ud fra udbytterne i hkg kerne pr. ha. Afgasset lupin ligger både i vårbyg og havre over de andre gødninger i værdital.



Figur 2.1. Responskurve for tildeling af svinegylle og placering af de tre andre gødninger i forhold til udbytte i vårbyg. Forsøg 1.



Figur 2.2. Responskurve for tildeling af svinegylle og placering af de tre andre gødninger i forhold til udbytte i havre. Forsøg 1.

Forsøg 2

På denne lokalitet var der en meget kraftig bestand af tokimbladet ukrudt. I vårbyg var ukrudtsdækning af jordoverfladen 85 % ved fuld gennemskridning den 24. juli. Ukrudtet medførte misvækst i vårbyg med udbytter på under 20 hkg pr. ha. I havre blev der på trods af en ukrudtsdækning af overfladen på 45 % ved skridning høstet udbytter på mellem 37 og 45 hkg pr. ha. Men der var ikke i forsøget et stigende udbytte for tildeling af kvælstof i svinegylle, hvorfor forsøget ikke er egnet til at beskrive gødningernes værdi.

2012

Foreløbige forsøgsresultater er opgjort på basis af NIR analyser. Når de kemiske analyser på kerne bliver gennemført senere kan det give et lidt andet resultat. Der er målt et værdital på 38 (% af total N), desværre med meget stor variation på gentagelser. Gødningen er nedpløjet ca. 0,5 til 3 timer efter tilførsel, og laveste værdital er målt i parceller, hvor gødning har ligget længst før pløjning. Variation kan muligvis hænge sammen med ammoniaktab. Udelades den laveste værdi på denne baggrund vil værditallet i stedet blive 46. Biogasgødning fra pilotanlæg på Foulum har til sammenligning haft et værdital på 65 og kvæggylle fra pilotanlægget har haft et værdital på 57. Disse to gødninger blev nedfældet med forsøgsnedfælder, hvorfor der ikke har været det samme potentiale for ammoniaktab her.

2.5 Diskussion

De to års forsøg er udført på forskellige måder og viser også ret forskellige resultater. Det var planlagt, at der begge år skulle gennemføres to markforsøg hos økologiske landmænd, men på grund af mangel på afgasset enggræs i 2012 var det ikke muligt. De begrænsede mængde af afgasset enggræs i 2012 har også medført, at det ene gennemførte forsøg ikke har været forsøgsteknisk optimalt. Et så lille datamateriale kan ikke sige noget endeligt om værditallet i afgasset enggræs, men kun give en indikation af, hvad gødningsværdien kan være.

I det ene vellykkede forsøg i 2011 har værditallet for det afgassede enggræs været på niveau eller bedre end kvæggylle. Og værditallet for kvæggylle har været på niveau med, hvad der tidligere er blevet målt i andre forsøg. Det er også tidligere påvist, at der er et lavere værdital i havre end i vårbyg.

I 2012 har der til gengæld været et lavt værdital for det afgassede enggræs (38 %), ca. 20 procentpoint lavere end værditallet for kvæggylle i det samme forsøg. I dette forsøg er der dog flere forsøgstekniske forhold der gør, at dets resultater skal tolkes forsigtigt. For det første har udbringningsmetoden for afgasset enggræs ikke været den samme som for de andre gødningstyper. Biogasgylle og kvæggylle er nedfældet, mens den afgassede enggræs er spredt ud oven på jorden og efterfølgende nedpløjet. Der er gået mellem en halv og tre timer mellem udbringning og pløjning og da værditallet har været lavest, hvor der har været størst tid mellem udbringning og harvning, er det overvejende sandsynligt, at udbringningsmetoden har haft en væsentlig indflydelse på resultatet.

Kvaliteten af det afgassede enggræs har også været forskellig i 2011 og 2012. I 2011 var andel af ammonium af det totale kvælstofindhold 53 % og dermed højere end i kvæggylle. Ammonium andelen i det afgassede enggræs i 2012 har været lavere end man ville forvente og i løbet af forsøget blev den gradvist lavere og den har på udbringningstidspunktet været 40 %. Der har muligvis manglet nogle mikronæringsstoffer, hvilket har gjort, at visse trin af biogasprocessen har været hæmmet, det ses af og til, når man kører på rene afgrøder. Den lave ammoniumandel er nok en væsentlig grund til de lave værdi-

tal, den ville sandsynligvis have været højere, hvis der havde været gylle med, så resultaterne skal tolkes med forsigtighed.

På baggrund af de to ovenstående forhold i forbindelse med forsøget i 2012, bør der ikke generaliseres ud fra de lave værdital. De må forventes at være højere ved den synergi, der opnås i et anlæg, hvor der er gylle med og når udbringningsteknikken er optimeret for at undgå ammoniakfordampning. Forsøgsresultatet fra 2011 må formodes at give et mere retvisende billede af den gødningsværdi, der kan forventes af afgasset enggræs.

2.6 Konklusion

Forsøgsdata er meget begrænsede og i forsøget i 2012 er der forsøgstekniske forhold, der gør, at der ikke bør generaliseres ud fra resultaterne. Det er derfor ikke muligt ud fra forsøgene at fastsætte et præcist værdital for afgasset enggræs. Forsøget fra 2011 viser, at afgasset enggræs kan have mindst samme værdital som kvæggylle, når processen i biogasanlægget og udbringningsmetoden er optimeret.

I forsøgene er enggræs afgasset i blanding med vand. Det er valgt for at få et indtryk af næringsstofindholdet i enggræsset. I praksis vil enggræsset indgå i blanding med andre biomasser, hovedsagligt gylle og kløvergræs. I sådan en blanding vil det være lettere at optimere processen, så denne ikke bliver hæmmet, som den muligvis har været i 2012.

Konklusionen på forsøgene er derfor, at afgasset biomasse som indeholder enggræs, kan indgå som et anvendeligt gødningsmiddel med et værdital på niveau med andre tilgængelige gødningsmidler i den økologiske produktion, men det kræver en optimering af proces og udbringning. Det vil være nødvendigt med yderligere forsøg, før et præcist værdital kan fastlægges og et sådan værdital bør fastlægges for den sammensætning af biomasse, som bliver aktuel ved anlæggets drift.

2.7 Referencer

Bertelsen, I., 2012. Case-beregninger for økologiske landmænds økonomi. Delrapport fra BioM-projektet.

Pedersen, J. (2012) (under udarbejdelse): Oversigt over Landsforsøgene 2012, Økologisk afsnit.

Pedersen, J. (2011): Oversigt over Landsforsøgene 2011, s. 272.

Pedersen, J. (2010): Oversigt over Landsforsøgene 2010, s. 270.

3. SKÖRD, INDHENTNING, LAGRING OCH FÖRBEHANDLING AV BIOMASSA

Thomas Vang Jørgensen, Peder Hedberg-Fält & Per Wennerberg

3.1 Sammandrag

Kapitlet opsummerer erfaringer fra fire års høst af biomasse i Nørreådal og to år ved Hornborgasjön. I projektperioden er der udviklet metoder til høst, bjærgning og lagring af enggræs, som gør biomassen konkurrencedygtig med majs som råvare til produktion af biogas. Målet har været at høste, bjærge, transportere og lagre biomassen fra engene i Nørreådal til en pris, som er lavere end 0,52 DKK pr. kg tørstof. Det er den pris, hvor enggræs kan erstatte majs, uden at økonomien i biogasproduktionen ændres.

I perioden er omkostningerne reduceret fra 0,71 DKK/kg tørstof i 2010 til gennemsnitligt 0,54 kr/kg tørstof 2011. I 2011 blev der høstet engbiomasse på 80 ha i Nørreådal til en pris, der varierede fra 0,41 DKK/kg TS til 0,64 kr/kg TS. Hertil skal lægges lagringsomkostninger på op til 0,08 DKK/kg TS. Det er med andre ord indenfor rækkevidde at høste engbiomassen til en pris, der gør den konkurrencedygtig med majs som råvare til biogasproduktion.

Følgende faktorer er væsentlige for den gennemførte omkostningsreduktion.

- Der er anvendt traditionelt udstyr til høst af græs. Bugseret eller butterfly skår-lægger –rive –rundballepresser m. snitter. Meget våde arealer, som ville kræve specialudstyr er ikke høstet.
- Med ekstrudering som forbehandling er det muligt at arbejde med høje tørstofprocenter og tungt omsætteligt plantemateriale. Dermed er det muligt at høste et enkelt meget stort og meget tørt slæt enggræs, for at få maksimal mængde værdistof og minimal mængde vand (fyld).
- Rundballerne er lavet så store som muligt for at maksimere mængden af bjærget værdistof, pr transport.
- Biomassen er transporteret direkte fra eng til biogasanlæg uden mellemlagre, for at undgå omkostninger til omlæsning.

Det behövs en bättre nordisk samordning inom teknikutvecklingen av skörd och hantering av grönmassa från våtmarker. Många konventionella jordbruksmaskiner och specialmaskiner har provats. Här visas exempel på teknikutveckling i England respektive Holland (figur 9 och 10).

Förutom transport av tung biomassa från svaga marker har finfördelningen av biomassan till ett effektivt biogassubstrat visat sig kräva ytterligare teknikutveckling.

3.2 Introduktion och metoder

Gennem fire sæsoner fra 2009 til 2012 er der høstet græs på engene lang Nørreåen. Alle omkostninger til høst, bjærgning, transport og lagring er registreret. Høst og transportprocesserne er løbende blevet evalueret og udviklet med det mål at nå frem til en høst og logistikløsning, der gør det rentabelt at bruge enggræs som råvare til biogasproduktion i stedet for majs.

I alle årene er enggræsset blevet slået med en skiveskårlægger, vejret/tørret, revet sammen og presset i rundballer (2011 blev en del presset i minibig-firkantballer). Herefter er ballerne transporteret direkte fra eng til biogasanlæg og oplagret. Gennem årene er der afprøvet forskellige typer maskiner, som traditionelt bruges til bjærgning og lagring af græs.

Tabell 3.1. Oversigt over anvendt teknik ved høst i Nørreådal.

År	Skårlægning	Presning	Lagring	Tørstof
2009	2m bugseret	Rundballe boogie-aksel	Ingen overdækning	40-60 %
2010	6 og 9 m bugseret	Rundballe boogie-aksel	Pomi rundballewrap	Ca 85 %
2011	6 og 8 m butterfly	Rundballe enkelt-aksel+ minibig	Pomi rundballewrap+ stakwrap	Ca 85 %
2012	9m butterfly	Rundballe enkelt-aksel	Ingen overdækning	70-85 %

Ved Hornborgasjön har man i 2010 og 2011 registreret høstomkostninger for udvalgte arealer ved søen (tabell 9.4)

Tidigt i projektet fandt man at insamling, transport och lagring av biomassa från våtmarker och strandängar kräver utveckling av maskintyper med god markbärighet och hög transportkapacitet. Dessa maskiner finns inte i det konventionella skandinaviska jordbruket. För att söka nya lösningar på dessa problem har BioM vidtagit två åtgärder:

- a. I BioM-projektet genomförde LMO och Länsstyrelsen i Västra Götaland en gemensam studieresa till Holland för att studera intressant teknik. Rapport från denna resa har publicerats (Asplund & Fransson, 2012). I avsnitt 9.3 återges en sammanfattning inkl. en av bilderna i denna rapport (figur 9.10).
- b. Under våren 2012 har Länsstyrelsen i Västra Götaland, inom BioM, låtit en teknikkonsult (Technofarm) inventera en stor del av den europeiska marknaden för aktuella maskiner till våtmarksarbete (Wennerberg, 2012). I avsnitt 9.3 återges en sammanfattning och ett exempel på en bild från denna rapport (figur 9.9)

3.3 Resultat och diskussion

De væsentligste erfaringer fra de enkelte høstår i Nørreådal er sammenfattet i tabel 9.1.

I 2010 blev der lavet detaljerede arbejdstidsregistreringer i forbindelse med høst og opbevaring (Høy, 2010). I rapporten behandles kapacitet og omkostninger til skårlægning, rundballer, Pomi indpakning og snittevogn med indlægning i stak eller plansilo.

Tabell 3.2. Væsentligste erfaringer fra de enkelte høstår i Nørreådal.

År	Skårlægning	Presning	Lagring	Tørstof	Pris
2009	Let maskine brugbar på meget våde arealer	God bæreevne brugbar på meget våde arealer	Tårnstakning minimerer pladsbehov	Stort tørstof-tab	Ikke beregnet
2010	Middeltung maskine brugbar på våde arealer	Som 2009	Rundballe "pølse" meget pladskrævende	Minimalt tørstof-tab	0,71 DKK/kg TS
2011	Tung maskine Dybe spor + fastkørsel i våde områder	Minibig = tung maskine kun brugbar på tørre arealer	Minibig i stakwrap min. pladsbehov. Rundballestak med presenning meget arbejdskrævende	Acceptabelt tørstof-tab	0,54 DKK/kg TS
2012	Som 2011	Acceptabel bæreevne . Brugbar på våde arealer	Minimeres. Max biomasse høstes direkte til bioforgasning	Tørstof-tab vs arb.behov acceptabelt	0,45 DKK/kg TS

Billederne herunder viser et udsnit af de maskinsæt, der er anvendt gennem årene.

Skårlægning

Skårlægning af græsset er i alle årene sket efter 20. juni af hensyn til vildtets yngleperioder og gældende regler for at modtage miljøtilskud til arealerne.



Figur 3.1. Skårlægning med front- og bagmonteret skivehøster 2010.

Rundballer

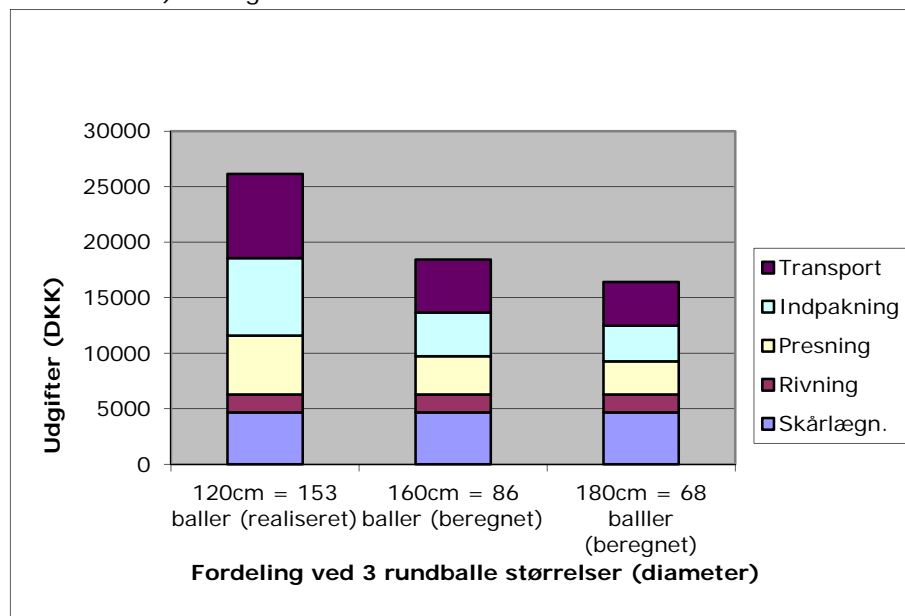
På grund af arealernes sårbarhed over for tung trafik og arealernes ringe bæreevne blev der valgt en teknik med lille egenvægt. Græsset blev derfor opsamlet med en rundballepresser. Græsset blev snittet med en indbygget snitter for lettere at kunne findele ballerne, før de skulle bruges i biogasanlægget.



Figur 3.2 2009 og 2010 Græsset blev presset med en rundballepresser med boogieaksel = lav akselbelastning.

Ballestørrelsens betydning for høstomkostningerne.

På basis af de realiserede høstomkostninger i 2010, udarbejdede vi en teoretisk beregning af rundballestørrelsens betydning for høstomkostningerne. Analysen viste, at det var muligt at reducere høstomkostningerne fra 0,71 DKK/kg TS til 0,46 DKK/kg TS ved at øge rundballernes diameter fra 120 cm til 180 cm (maksimal ballestørrelse med presser anvendt i 2010). Se figur 9.3.



Figur 3.3. Udgiftsfordeling som funktion af ballestørrelse ved høst af biomasse fra i alt 11 ha i Nørreådal.

Endelig har det ganske afgørende betydning for de samlede omkostninger at bjærge enggræsset og anden biomasse med så højt et tørstofindhold som muligt.

Når tørstofindholdet er så højt som 80 %, er det efter alt at dømme ikke nødvendigt at wrappe ballerne, fordi tørstofabet ved lagring forventes at være mindre end udgiften til wrap. Det betyder, at ballerne kan laves større end de 160 cm i diameter, som er max for baller, der skal wrappes. I de år, hvor dette kan opnås, kan der derfor presses større baller, nemlig op til 180 cm. I år med ringere bjergningsbetingelser vil det være nødvendigt med en wrapning af ballerne og dermed en ballediameter på højst 160 cm. Samtidig er den samlede mængde, der skal bjerges, lidt større: nemlig 4500 tons pga. det ekstra vandindhold. De samlede omkostninger til fremskaffelse af enggræs som råvare for biogasanlægget under sådanne forhold er næsten dobbelt så store som i år med mere gunstige bjergningsbetingelser.

Læsning, aflæsning

Læsning af ballerne skete med traktor med frontlæsser. Læsseren var udstyret med balle-tang, så ballerne kunne vendes og drejes efter ønske. Vogntoget bestående af to vogne kunne rumme 27 baller. Fuldt lastede er vognene det tungeste led i transportkæden fra eng til biogasanlæg. Tungt læs og relativt små hjul betyder, at vognene kun kan læsses i engene på tørre områder med stor bæreevne. I våde dele af engene var det nødvendigt at transportere ballerne to og to med traktor frem til transportvognen.



Figur 3.4 Læsning af baller i marken med frontlæsser.

Transport skete direkte fra engene til lagerplads ved biogasanlægget. Den gennemsnitlige transportafstand fra engene til biogasanlægget er 12 km.

Aflæsning ved lagerpladsen blev udført med læssemaskine, der kunne håndtere to baller ad gangen.



Figur 3.5. Aflæsning ved lagerpladsen med læssemaskine.

Lagring

Der blev afprøvet forskellige metoder med henblik på at identificere den billigste og bedst egnede metode at beskytte enggræsset mod vejrlig for at undgå tørstof-tab, såfremt det skal opbevares over en længere periode. Enggræsset blev presset i henholdsvis minibig- og rundballer. Minibigballerne blev POMI-wrappet, mens en del af rundballerne blev lagret under presenning og en del blev POMI-wrappet (figur 3.6 og 3.7).



Figur 3.6. Indpakning af ballerne i strækfolie med specialmaskine.



Figur 3.7. Ballerne kunne pakkes i endeløse rækker med Pomi pakker.



Figur 3.8 Indtransport og Pomi-wrapning af minibigballer samt lagring af minibig- og rundballer ved Pomi-wrapning og under presenning ved Aarhus Universitets biogasanlæg i Foulum.

Omkostningerne til de forskellige lagringsmetoder er angivet i tabel 9.3, og det ses, at omkostningerne ved lagring med presenning er ca. dobbelt så høje som omkostningerne til lagring ved Pomi-wrap. Ved beregning af omkostningerne er afskrivning af presenninger sat til et år. Kan de holde flere år, vil omkostningen ved denne lagringsform falde. Ligevægtpunktet for denne lagringsform i forhold til Pomi-wrap fås ved en afskrivningsperiode af presenningerne på tre år.

Tabel 3.3. Oversigt over omkostninger ved de fire forskellige lagringsmetoder, som blev afprøvet i 2011.

	Baller [stk.]	Baller [ton friskvægt]	Baller [ton TS]	Omkostning [DKK]	Omkostning [DKK/kg TS]
Minibigballer enggræs (POMI)	196	78	66,5	6.260	0,09
Rundballer enggræs (POMI)	65	0	24	3.045	0,13
Rundballer enggræs (presse-ning)	500	288	245	44.470	0,18
Rundballer kløvergræs (POMI)	175	118	100,3	7.555	0,08
Total	936	480	411	61.330	

Forskellen i omkostninger pr. kg. TS mellem, at POMI-wrappe henholdsvis enggræs og kløvergræs skyldes et lavere TS indhold pr. balle enggræs i forhold til kløvergræs, samt at et ens startgebyr fordeles på relativt færre baller enggræs end kløvergræsballer.

Dokumentation av slåtterkostnader vid Hornborgasjön, Västra Götaland

I forbindelse med græshøsten ved Hornborgasjön 2010 og 2011 har man dokumenteret omkostninger som angivet i tabel 9.4. Allt arbejde är utfört med konventionella jordbruksmaskiner. OBS! Alla kostnader är redovisade i SEK.

Tabell 3.4. Slätterkostnader i BioM-projektet på 3 strandängar vid Hornborgasjön.

Område 1. Areal 21 ha. År 2010.				Total kostnad
Metod	Antal timmar	Antal balar	Kostnad*/	
Ter	10,5		850 SEK/tim	8 925 SEK
Hövändning	5		850 SEK/tim	4 250 SEK
Strängning	7		850 SEK/tim	5 950 SEK
Pressning		287	60 SEK/bal	17 220 SEK
Totalt				36 345 SEK
Område 2. Areal 4 ha. År 2011				
Metod	Antal timmar		Kostnad*/	
Slätter	3,5		1050 SEK/tim	3 675 SEK
Hövändning	1,5		950 SEK/tim	1 425 SEK
Strängning	1,5		950 SEK/tim	1 425 SEK
Pressning		48	65 SEK/bal	3 120 SEK
Totalt				9 645 SEK
Område 3. areal 16 ha. År 2011				
Metod	Antal timmar		Kostnad*/	
Slätter	6		1050 SEK/tim	6 300 SEK
Hövändning	3		950 SEK/tim	2 850 SEK
Strängning	4		950 SEK/tim	3 800 SEK
Pressning		52	65 SEK/bal	3 380 SEK
Totalt				16 330 SEK

* / Transportkostnader ej medräknade.

Studiebesök i Holland

Länsstyrelsen i Västra Götaland och LMO i Danmark reste i projektet till Holland för studier av specialmaskiner anpassade för marker med låg bärighet.

Alla maskiner som visades var utrustade med breda band för att ta sig fram på områden med låg bärighet. Vi var där i huvudsak för att titta på maskiner för våtmarksslätter, men även maskinerna för vasskörd, avverkning och stubbfräsning var intressanta.

Maskindemonstrationen började med visning av maskiner för skörd av vass för taktäckningsändamål. Vassen klipptes av med en knivbalk och transporterades upp med ett stående band. Samtidigt borstades gräs bort från nedre delen av vassen för att därefter automatiskt bindas i kärvar för att läggas i en stor bunt som kördes till upplag på land.

Därefter visades maskiner för avverkning, flisning och stubbfräsning.

En av maskinerna kunde både skörda och mata en separat gående flistugg. Den var radiostyrd och kunde allt eftersom man skördade följa med på avverkningsplatsen. Flisen fördes i en container till land för tömning. För hela arbetsmomentet krävdes bara en maskinist.

För behandling av kvarvarande stubbar fanns det ytterligare en maskin. Även den hade band för att kunna gå efter skördaren och färdig ställa arbetet. Våtmarken var sedan klar för att bearbetas med lämplig puts eller slättermaskin (Asplund & Fransson, 2012). Figur 9.10 är exempel från denna studieresa.

Technofarm maskininventering

Konsultfirma Technofarm har utarbetat en rapport som beskriver de svenske erfarenheter med att använda enggräs till biogas (Wennerberg, 2012). Det följande är ett sammendrag från rapporten:

Svenska våtmarker kan vid en TS-skörd på 2 ton /ha uppskattningsvis producera 20 000 ton TS. Om biogaspotentialen är 0,21 Nm³ metan/kg TS så ger det 4,2 milj Nm³ metan/år vilket motsvarar 41,2 GWh.

Det krävs bandfordon för att kunna köra på de blötaste våtmarkerna. Men pistmaskiner måste byggas om med bl.a. speciella band som är skonsamma mot rotfilten.

Efter 2-3 körningar kan rotfilten skadas varför det gäller att försöka hitta maskinsystem som minimerar antalet körningar.

Förtorkning av grönmassan är önskvärd för att minska vikten i transporterna, lagringsvolymen samt ge en bättre ensilering. Detta måste dock avvägas mot problemet att detta kan orsaka extra körningar på våtmarken samt markens fuktighet.

Biogasproducenter betalar idag 0,70-0,80 SEK/kg TS för grönmassa leverat fritt biogasanläggningen. Det främsta kravet är att inga strån är längre än 10 mm.

Trenden är att man vill köpa substraten fritt biogasanläggningen av entreprenörer som ansvarar för hela skörd & hanteringskedjan.

Vid sidan av inplastade och ensilerade rundbalar är ensilering i slangar ett bra alternativ. Med hänsyn till häckande fåglar och frösättning hos vissa växter skördas de flesta våtmarkerna inte förrän efter den 15:e juli. Biogaspotentialen för detta sent skördade våtmarksgräs bedöms till 0,21 Nm³ metan/kg TS vilket är 60 % av den bästa vallen från åkermark.

Dagens maskinkedjor med slåtter, rundbalning och borttransport har en kapacitet på ca 1 ha/tim.

Kostnaden för dagens skörd, transport och ensilering av våtmarksgräs bedöms till 2,90 - 4,42 SEK/kg TS.

I dagsläget kan endast skörd och hantering av grönmassa från våtmarker gå ihop sig ekonomiskt om det utgår miljöersättning för slåtterängar med särskilda värden (4200 alt. 5400 SEK/ha/år).

För dagens skörd av grönmassa till biogasproduktion finns främst två barriärer:

1. Biogasproducenterna kräver en bättre kvalitet på substratet där man farmför allt vill ha grönmassan mer finfördelad med en strållängd på max. 10 mm.
2. Utkörning av grönmassan från våtmarken tar idag för lång tid med många körningar speciellt för rundbalar. Risken för markskador är också stor vid denna trafik.

För små arealer (<10 ha) och korta transporter (<10 km) är inplastade rundbalar effektivast. Men här krävs utveckling av teknik för effektivare sönderdelning av ensilaget från balarna. För större arealer (>10 ha) och längre transportavstånd (>10 km) bör ett system utvecklas med exakthackning direkt på våtmarken till lastväxlar containers som sedan transporteras med lastbil till en upplagsplats för slangensilering, gärna i anslutning till biogasanläggningen. Figur 3.9 är exempel från denna inventering.

3.4 Konklusion

I Nørreådalen er høstomkostningerne reduceret fra 0,71 DKK/kg tørstof i 2010 til gennemsnitligt 0,54 DKK/kg i 2011. I 2011 blev der høstet engbiomasse på 80 ha i Nørreådalen til en pris, der varierede fra 0,41 DKK/kg tørstof til 0,64 DKK/kg TS. Hertil skal lægges lagringsomkostninger på op til 0,08 DKK/kg TS. Ved at høste engbiomassen tør som hø og afgasse den indenfor en-tre måneder efter høst kan udgifter til lagring undgås. Det betyder, at omkostningerne til høst, bjærgning og transport af biomasse er tæt på de 0,52 DKK/kg TS, der gør enggræs konkurrencedygtig med majs som råvare til biogasproduktion.

Følgende faktorer er væsentlige for den gennemførte omkostningsreduktion.

- Der er anvendt traditionelt udstyr til høst af græs. Bugseret eller butterfly skårlægger, rive, rundballepresser m. snitter. Meget våde arealer, som ville kræve specialudstyr er ikke høstet.
- Med ekstrudering som forbehandling er det muligt at arbejde med høje tørstofprocenter og tungt omsætteligt plantemateriale. Dermed er der basis for at høste et enkelt slæt biomasse tørt som hø for at få maksimal mængde værdistof og minimal mængde vand (fyld).
- Rundballerne er lavet så store som muligt for at maksimere mængden af bjærget værdistof pr. transport.
- Biomassen er transporteret direkte fra eng til biogasanlæg uden mellemlagre for at undgå omkostninger til omlæsning.
- Ved Hornborgasjön har der i samme periode været stor variation i høstomkostningerne. Typisk regner man med, at det koster 2,90 - 4,42 SEK/kg TS at høste, bjærge og transportere enggræs til biogas i Sverige.

- Høstomkostningerne i de to områder kan ikke umiddelbart sammenlignes. Arealernes farbarhed og vejret i høstperioden har stor indflydelse på hvor dyrt eller billigt, der kan høstes den pågældende sæson.

Gennem teknikudvikling og rationalisering af logistikkæden er det muligt at reducere omkostningerne til enggræs yderligere. Vigtige fokusområder er især rationel indsamling af baller og udvikling af materiel med stor bæreevne og høj høstkapacitet, som kan færdes i engene uden at lave spor eller køre fast.

I blandt andet England og Holland findes i dag teknisløsninger, som med fordel kunne afprøves under forholdene i Nørreådal og ved Hornborgasjön.

Här visas två exempel på teknikutveckling i England respektive Holland.



Figur 3.9. Softrak från Loglogic (<http://www.loglogic.co.uk>) i England kan utrustas med en frontmonterad 1,3m bred slaghack som blåser grönmassan till en tippningsbar behållare. Foto: Loglogic.



Figur 3.10. Avlastning enligt koncept från holländska De Vries Cornjum där självlastarvagnen dockar till ett traktordrivett mobilt avlastarbord/släpkärra. Foto: De Vries Cornjum.

En anden løsning, som sandsynligvis er væsentlig billigere end specialbyggede maskiner, er at udruste traditionelle maskiner med bånd i stedet for hjul. Se figur 9.11.



Figur 3.11. Valtra med bælter.

3.5 Referenser

Wennerberg, P. 2012. Skörd och hantering av biomassa från våtmarker för biogasproduktion. Delrapport fra BioM-projektet. www.agrotech.dk/biom

Asplund, P. och Fransson, J. 2012. Länsstyrelsen i Västra Götaland, Hornborgasjön. Reserapport Studieresa till maskinvisning i Holland 17/1-18/1. www.agrotech.dk/biom

Høy, J.J. 2010. Kapacitetsmålninger i 2010 v/ Nørreå. www.agrotech.dk/biom

4. BIOGASFORSØG

Henrik B. Møller & Kristian Fjærtøft

4.1 Sammendrag

Der har været udført en række forsøg i henholdsvis Danmark og Norge med fastsættelse af biogaspotentiale og forbehandling af tungnedbrydelig biomasse som halm, vedvarende græs og fast husdyrgødning.

Forsøgene har vist, at fastsættelsen af biogaspotentialer kan være vanskelig for denne type biomasse og det anvendte innokulum kan have afgørende betydning for resultaterne. Man bør derfor være varsom med sammenligning af gasudbytter på tværs af forskellige forsøg. Anvendelse af Nær InfraRød spektroskopi (NIR) er en metode, der kan anvendes til hurtigbestemmelse af gasudbyttet, men sikkerheden er kun begrænset og kan primært bruges til at gruppere græsset i lav, mellem og høj kvalitet.

Forskellige forbehandlingsmetoder har været testet herunder dampekspllosion, ludbehandling med soda (NaOH) og ekstrudering. Ved opholdstider på under 30 dage opnås merudbytter på 15-27 % i forskellige biomasser ved ekstrudering. Ludning af halm resulterer i 2-2,5 gange så meget gas, som der kan udvindes fra ubehandlet halm og ludning af halm er således en meget lovende forbehandlingsmetode. Forsøg med vedvarende græs fra forskellige arealer har vist, at der ved opholdstider på under 30 dage er stor forskel mellem areal typer og høsttidspunkt. Ved lang opholdstid på over 60 dage er der imidlertid kun marginal forskel. Lagringsforsøg har vist at opbevaring af tørt enggræs (>80 % tørstof) uden overdækning, ikke giver anledning til væsentlig kvalitetsforringelse i forhold til biogaspotentialet

4.2 Introduktion

Der har været udført en række forsøg med biogaspotentialer af halm, græs og fast husdyrgødning, herunder effekt af forbehandling. De anvendte forbehandlingsmetoder er ekstrudering og trykkogning. Endvidere vil resultater af forsøg med biogaspotentialer af halm med forskelligt innokulum indgå og endeligt vil resultater med anvendelse af NIR til bestemmelse af biogaspotentiale i græs indgå. Følgende områder er undersøgt.

- Biogaspotentialer af enggræs, høst, lagring, arealer.
- Biogaspotentialer af halm og innokulums betydning.
- Forbehandling af halm, græs og gødning
- Anvendelse af NIR til bestemmelse af biogasudbytte i græs.

4.3 Materialer og metoder

Biogaspotentialer af enggræs, høst, lagring, arealer

Der har været indsamlet græsprøver i 2009, 2010 og 2011 fra forskellige arealer med forskellig gødningsstrategi. Endvidere er effekten på biogasudbyttet af forskellige lagringsstrategier undersøgt. Forsøgene er udført i 1100 ml infusionsflasker med gummilåg. Flaskerne blev inkuberet ved $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$, efter flushing med N_2 . Innokulum fra biogasreaktorer fra Foulums hovedreaktor blev anvendt. Test medierne blev udrådnet med 3 gentagelser med den standard metode, der anvendes på AU (Møller et al. 2004).

Biogaspotentialer af halm og innokulums betydning

Der har i foråret og sommeren 2011 været foretaget batchforsøg med halm fra Norge i henholdsvis Norge og Danmark. Formålet var at undersøge, om forskelligt innokulum giver forskelligt metanudbytte. I det norske forsøg blev der anvendt innokulum fra en reaktor, der modtog kvæggylle som substrat, hvorimod der i den danske undersøgelse blev anvendt innokulum fra en reaktor, der anvender et blandet substrat som er tilpasset halm. Metoderne der blev anvendt i Norge og Danmark varierede.

I Danmark blev forsøgene udført i 1100 ml infusionsflasker lukkede med gummilåg. Flaskerne blev inkuberet ved $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$, efter flushing med N_2 . Innokulum fra biogasreaktorer fra Foulums hovedreaktor blev anvendt. Test medierne blev udrådnede med 3 gentagelser. Gasproduktionen blev målt efter behov ved fortrængningsprincip og gasprøver blev analyseret for CO_2 og CH_4 med gaskromatograf. Metoden er nærmere beskrevet af Møller et al. (2004). Substrat:Innokulum forholdet har været $1+/-0,1$ på VS basis.

I de norske forsøg blev infusionsflasker med 1125 ml nettovolumen brugt. Flaskerne blev inkuberet ved $37 \pm 2^\circ\text{C}$. Flaskerne blev ikke skyllet med N_2 , men innokulum fra Cambi's reaktor ved det norske Universitet for Miljø- og Biovitenskap, stod i flaskerne nogle dage for stabilisering, før medierne blev tilsat. For hvert af medierne blev der udført tre gentagelser. Gasproduktion blev målt med trykmåling ved $37 \pm 2^\circ\text{C}$ og omregnet til volumen ved 0°C . Metan indholdet blev målt med Agilent Micro GC. Der blev anvendt 4 gram VS af både innokulum og substrat, i alt 8 g VS pr flaske. Forholdet mellem substrat og innokulum var således 1:1 på VS basis. Der blev i hver flaske tilført vand til et totalvolumen på 700 ml.

Forbehandling af halm, græs og gødning

En af forbehandlingsmetoderne der blev anvendt i det norske forsøg var trykkogning eller "dampekspllosion". Fremgangsmåden er, at temperatur og tryk af biomassen forøges ved hjælp af damp. Efter kort tid er det indre tryk i cellerne i substratet mere eller mindre ens med trykket i beholderen. En ventil åbnes derefter, og substratet flyder ind i en tank uden tryk, en "flash-tank". Det store tryk inde i cellerne vil få dem til at bryde, eller "eksplodere". Dette er en meget effektiv forbehandling, som er testet på alt fra slam til halm og træ med gode resultater. I det norske forsøg på halm blev det brugt en temperatur på 190°C og en opholdstid på 15 minutter i tryktanken. Forskellige biomasser er endvidere testet ved forbehandling i en ekstruder. Den anvendte ekstruder er en Bioextruder type MSZ-B74e fabrikeret af Lehman. Drift af ekstruder og energiforbrug er beskrevet detaljeret i kapitel 5.

Eksperimentet med sodaludning blev udført på fire reaktorer (Figur 4.1b), hver med 15 liter aktivt reaktorvolumen og $37 \pm 2^\circ\text{C}$ driftstemperatur. Hver reaktor blev dagligt fodret med 450 g kvæggylle og 50 g ensilage. Ludning blev foretaget med soda (NaOH) i en koncentration på 1,5 % i vand. Reaktor 2, 3 og 4 modtog endvidere halm. I reaktor 2 blev der tilført 10 g tørt halm og i reaktor 3 blev der tilført samme mængde organisk stof i form af ludet halm, dvs. 42,3 g vådvægt. I reaktor 4 blev der tilsat dobbelte så meget ludet halm, dvs. 84,6 g vådvægt, hvilket svarer til 20 g tørt halm. Biogasproduktion blev målt med en trykstyret peristaltisk pumpe til rumfangsmåling. Metanindhold blev målt med en gaskromatograf (GC). Opholdstiderne i reaktor 1 til 4 var i gennemsnit henholdsvis 30, 29, 28 og 26 døgn.



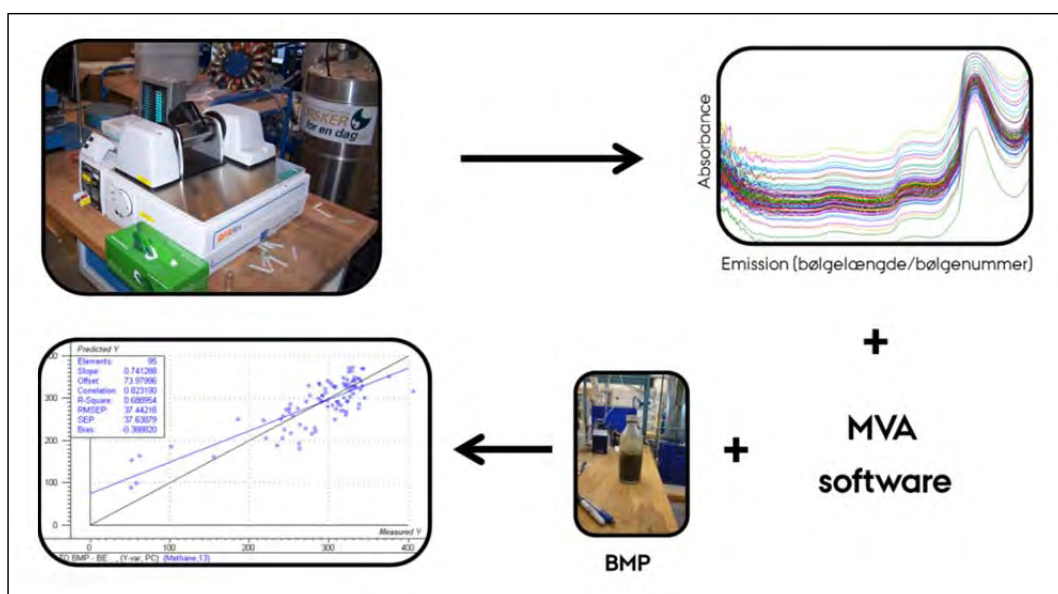
Figur 4.1. a) Halm, før og efter ludning.



b) Reactorerne hvor forsøgene blev gennemført.

Anvendelse af NIR til bestemmelse af biogasudbytte i græs.

Metoder til at vurdere græssets biogaspotential har hidtil været ret tidskrævende, men i projektet er videreudviklet en hurtig metode (figur 4.2). Der er sammenlignet tre metoder: NærInfraRød Spektroskopi (NIRS), Neutral Detergent Fibre analyse (NDF) og in vitro fordøjelighed af organisk materiale til bestemmelse af det biokemiske metanpotentiale i enggræs. En hurtig bestemmelse af BMP bruges til at bestemme råvarens værdi. De mest almindeligt anvendte metoder til bestemmelse af BMP tager mindst 30 dage, før der foreligger resultater.



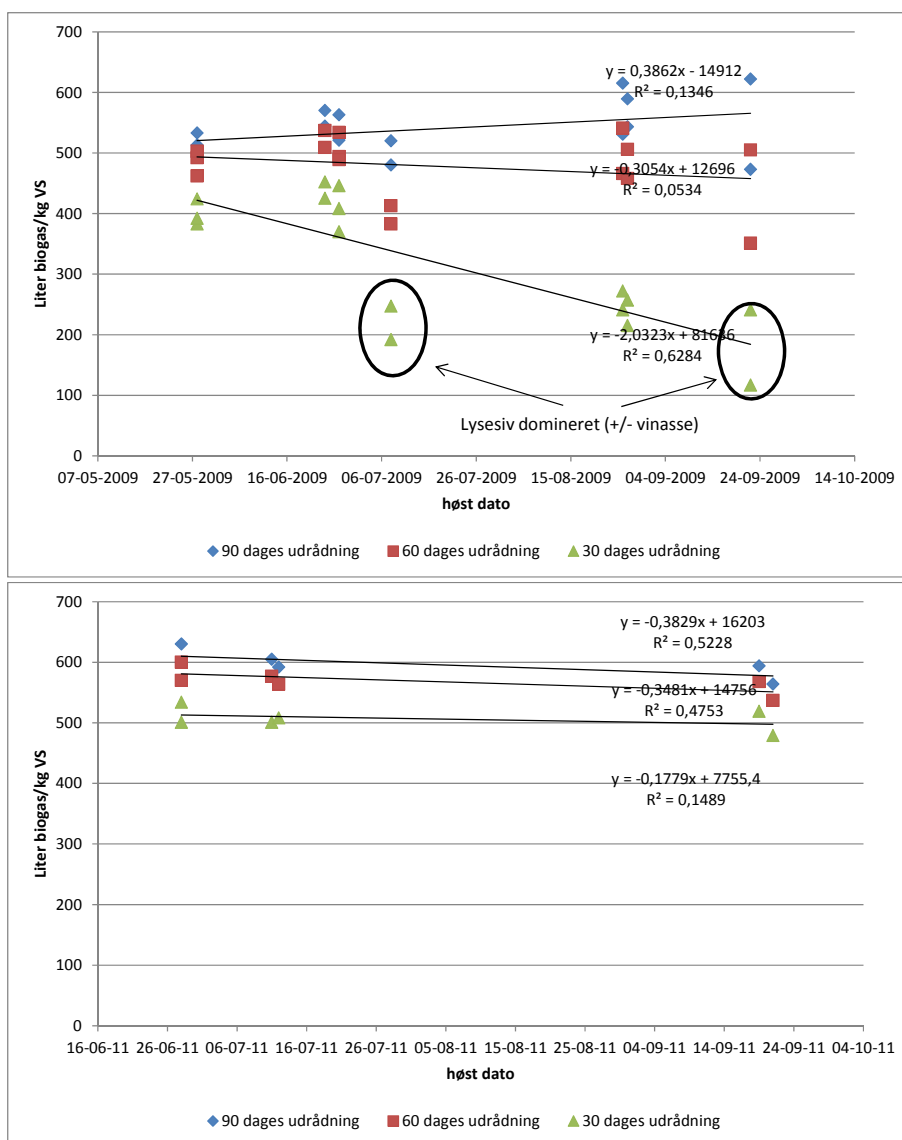
Figur 4.2. NIR udstyret og principperne bag kalibrering

4.4 Resultater og diskussion

Biogaspotentialer af enggræs, høst, lagring, arealer.

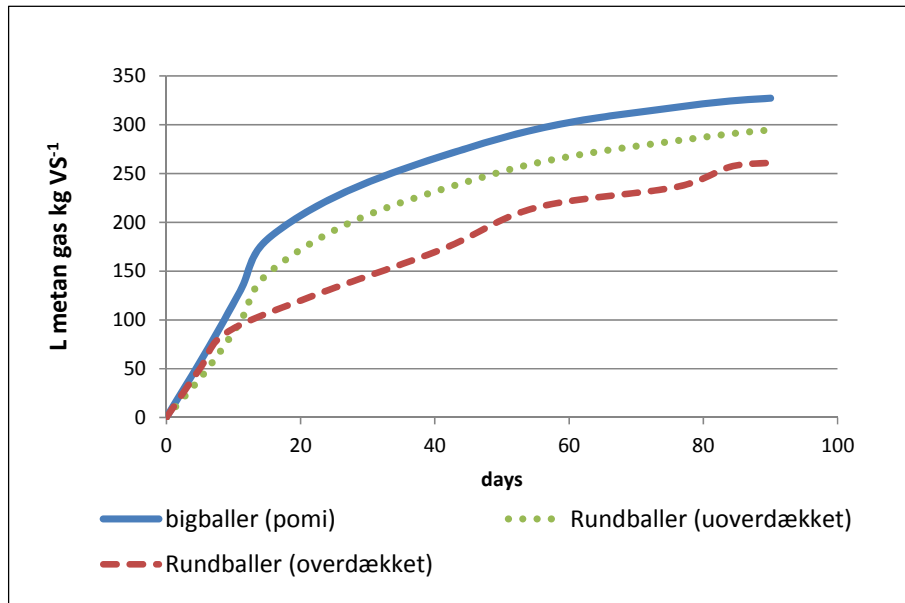
Det fremgår af figur 4.3, at udbyttet i enggræs er afhængigt af høsttidspunkt ved 30 dages opholdstid, ligesom høj andel lysesiv har en negativ effekt. Ved opholdstid over 60 dage er forskellen imidlertid meget begrænset. Der bør derfor tilstræbes et anlæg med en lang opholdstid, hvorved kvaliteten af græsset bliver mindre væsentlig, medmindre der foretages en effektiv forbehandling. Det fremgår endvidere, at der er forskel mellem arene og det tyder på, at kvaliteten er blevet forbedret fra 2009 til 2011. Dette skyldes måske, at arealer der får pleje gennem flere år, giver en bedre kvalitet af græs, men gene-

relt kan det enkelte år variere. Høsten i 2011 viser endvidere, at de sene slæt kan have en kvalitet, der næsten er på højde med de tidlige slæt. I 2011 havde alle de sene slæt været høstet forud ved et tidligt slæt i slutningen af juni eller starten af juli.



Figur 4.3. Metanudbytte af enggræs fra forskellige lokaliteter og høsttidspunkter i 2009 og 2011.

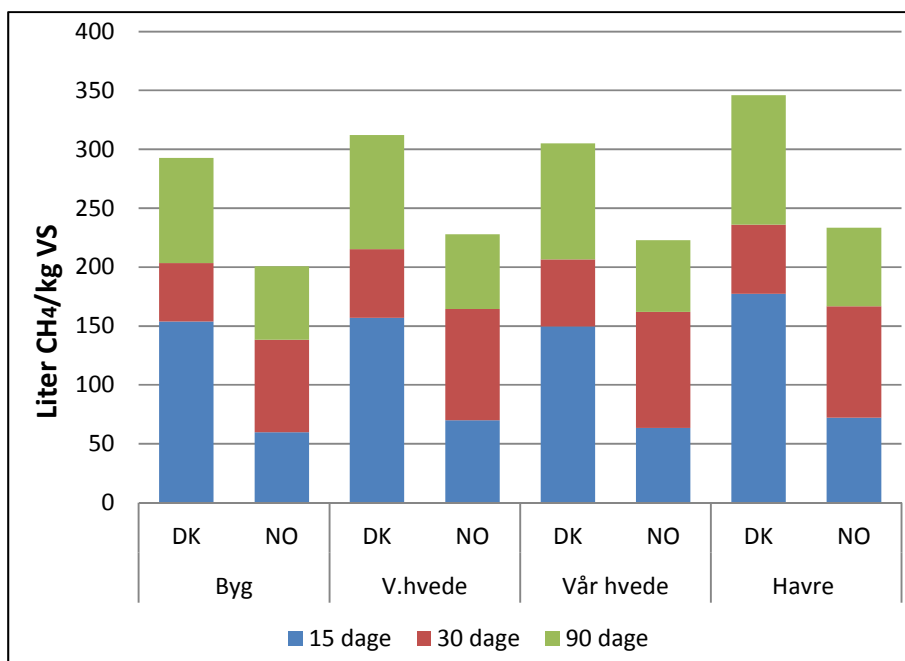
I figur 4.4 er metanudbyttet af græs lagret ved forskellige metoder vist. Det fremgår, at gasudbyttet i uoverdækkede rundballer efter et halvt års lagring er højest i det uoverdækkede græs. Hvorvidt det reelt er tilfældet, er vanskeligt at konkludere, eftersom det ikke er muligt at sikre sig, at det er nøjagtigt det samme græs, der har været i den uoverdækkede og den overdækkede baller. Men under alle omstændigheder er der ikke noget, der tyder på at de uoverdækkede baller giver et lavere udbytte. Det har imidlertid ikke været muligt at registrere et eventuelt tab af tørstof ved de to metoder. I undersøgelsen opnåedes det højeste udbytte i firkantede bigballer med simpel pressening overdækning, men med det sparsomme datagrundlag er der ikke basis for at konkludere, at bigballer generelt er den bedste metode.



Figur 4.4 Metan udbytte af enggræs ved forskellige lagringsstrategier i 2011. Prøverne er taget efter ca. et halvt års lagring.

Biogas af halm og innokulums betydning

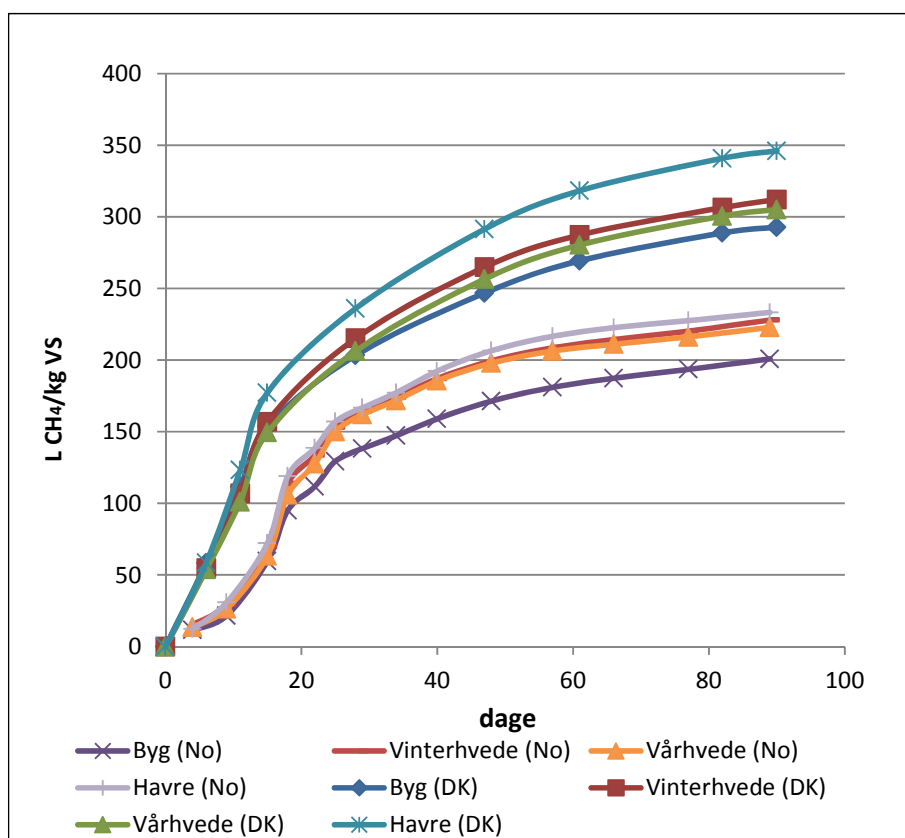
Nedenstående viser resultaterne fra forsøgene med forskelligt halm, med henholdsvis innokulum fra Norge og Danmark.



Figur 4.5 Det akkumulerede metan udbytte i det danske og norske forsøg. Tallene er gennemsnit af tre gentagelser.

Det fremgår, at metanudbyttet er væsentligt højere i den danske undersøgelse. Specielt udbyttet i startfasen er lavt i den norske undersøgelse (figur 4.6). Sandsynligvis vil der blive produceret større mængder af de rigtige enzymer i det danske innokulum, hvilket sikrer en bedre substratforsyning til de metanogene bakterier. Da forskellen mellem den

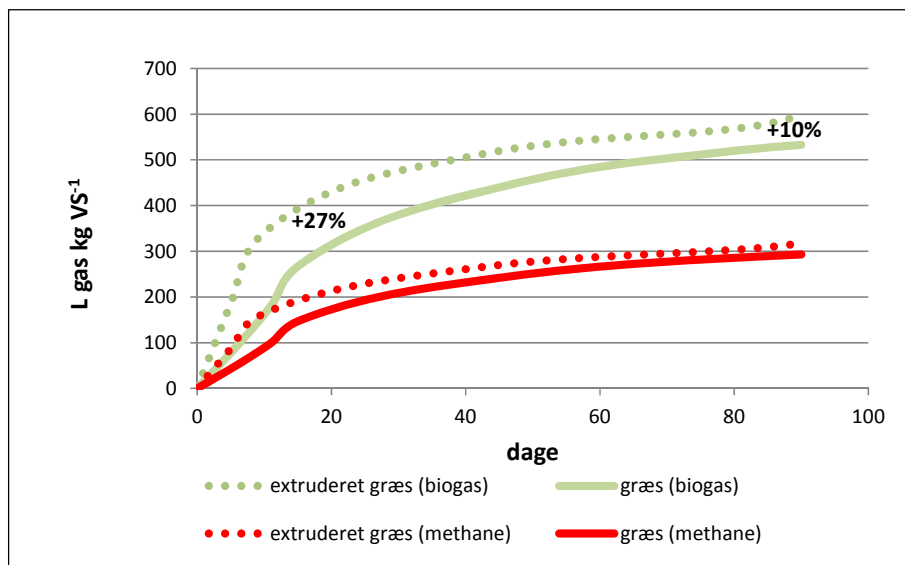
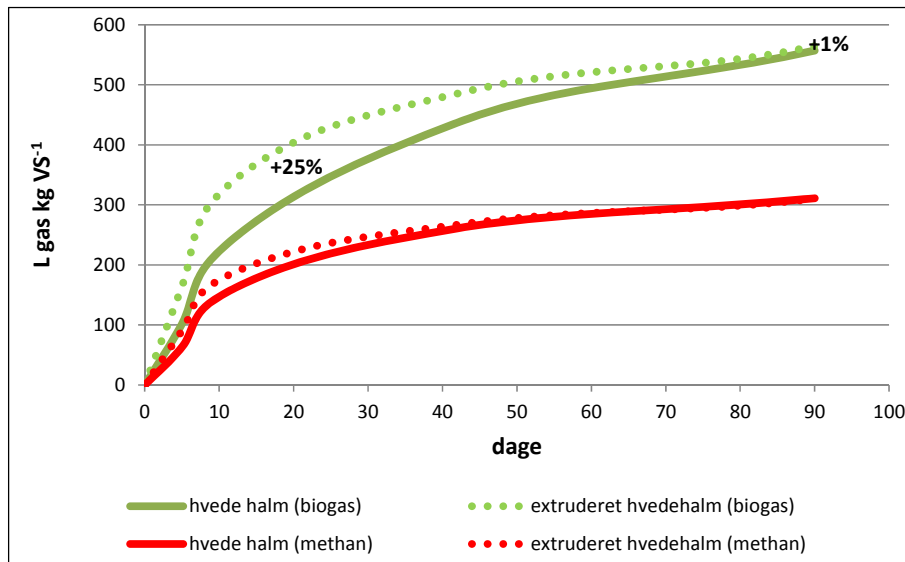
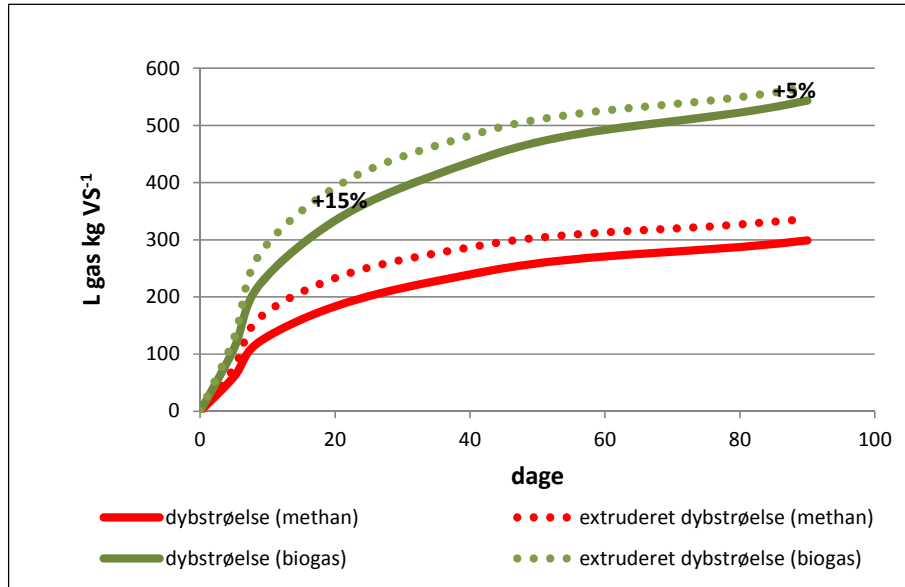
danske og den norske undersøgelse er så signifikant stor, er det sandsynligvis innokulomet, som er afgørende fremfor forskel i metoder.



Figur 4.6 Det akkumulerede metan udbytte i det danske og norske forsøg. Tallene er gennemsnit af tre gentagelser.

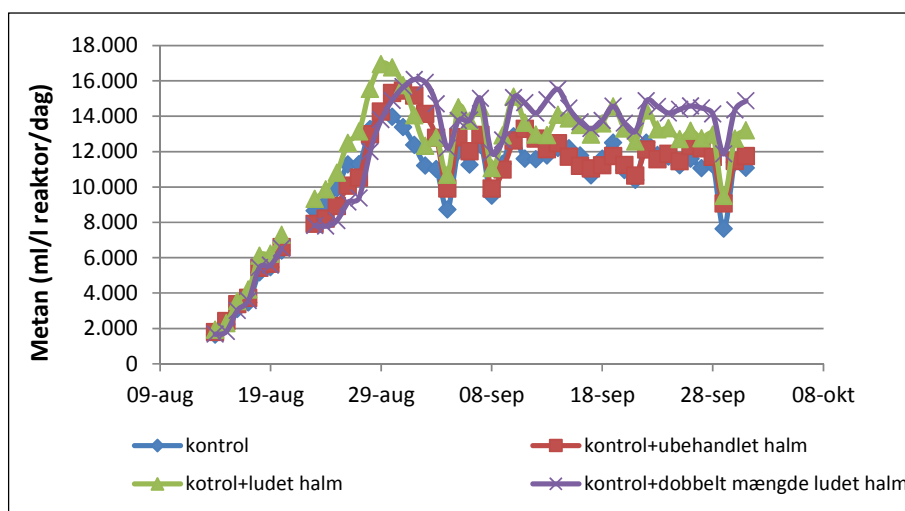
Forbehandling af halm, græs og gødning

I figur 4.7 er resultaterne ved batchudrådning af græs, dybstrøelse og hvedehalm illustreret. Det fremgår, at der opnås et betydeligt ekstraudbytte ved ekstrudering. Ekstraudbyttet med de tre produkter er 15-27 % ved 20-30 dages udrådning og ved langtidsudrådning er ekstraudbyttet 1-10 %. Hvis opholdstiden er tilstrækkelig lang, er der således en begrænset effekt. Til gengæld muliggør ekstruderen en langt højere belastning af reaktoren ved lavere opholdstider uden problemer med flydelag.



Figur 4.7 Forbehandling af halm, dybstrøelse og enggræs med ekstruder.

I figur 4.8 vises gasproduktionen i reaktorer, der får tilført ingen, ubehandlet eller ludet halm. Det fremgår, at der opnås højst gasudbytte i de reaktorer, der får tildelt ludet halm.



Figur 4.8 Biogasproduktion i reaktorer med husdyrgødning og fiskeensilage samt reaktorer med hhv. ubehandlet og ludet halm, sammenlignet med en kontrol reaktor.

Den gennemsnitlige produktion af biogas pr. dag for perioden 1. september til 1. oktober var i de fire reaktorer: 17.391 (\pm 1676) ml, 18.985 (\pm 1921) ml, 21.375 (\pm 1871) ml og 23.262 (\pm 1704) ml. Reaktoren med ubehandlet halm gav 9,16 % mere gas end reaktoren, der ikke fik halm. Reaktoren med ludet halm fik samme mængde halm som reaktoren med ubehandlet halm, men gav 12,6 % mere gas og ludning har således haft en betydelig effekt. Reaktoren der fik tilført dobbelt mængde ludet halm gav 33,8 % mere end reaktoren, der ikke fik halm. Forsøget viser, at 1 kg ubehandlet halm vil give ca. 159 liter biogas og ved ludning stiger dette til ca. 398 liter biogas. Der er således en betydelig effekt af ludningen. Hvis mængden af ludet halm fordobles, vil udbyttet være ca. 293 liter pr. kg og udbyttet er dermed lidt lavere pr. kg halm. Dette er forventeligt, da et større substratoverskud oftest vil føre til en lavere udnyttelse pr. kg tilsat substrat, men meget højere produktion pr. reaktorvolumen.

Konklusionen af forsøget er, at ludning af halm resulterer i 2-2,5 gange så meget gas og der var ingen problemer forbundet med processen. Ludning af halm er således en meget lovende forbehandlingsmetode.

NIR spektroskopi til bestemmelse af biogaspotentiale

BMP værdierne varierede mellem 51 l/kg VS og 338 l/kg VS. Undersøgelsen har vist, at modeller til prædiktering af BMP med NIR giver et mere præcist estimat i forhold til øvrige modeller baseret på NDF og IVOMD. Det vurderes ud fra undersøgelsen, at NIR er en brugbar metode til forudsigelse af biogas potentiale, men metoden er behæftet med en del usikkerhed og de udviklede modeller har stadig brug for at blive forbedret.

Tabel 4.1 Nøgletal for resultaterne med NIR.

Model	Data pre-processing	Number of samples (n)	Number of Principle components	RMSEP	R ²	RPD (SD/RMSEP)
NIRS → BMP	Mean normalization	95	13	37.4	0.69	1.75
NDF → BMP	Raw Data	90	1	49.5	0.27	1.16
IVOMD → BMP	Raw data	91	1	44.1	0.41	1.3
IVOMD & NDF → BMP	Raw Data	91	1	45.2	0.38	1.27

4.5 Litteratur

Møller, H.B., Sommer S.G. & Ahring, B.K., 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy* 26, 485-495.

5. ØKOLOGISK BIOGASLINJE

Henrik B. Møller

5.1 Sammendrag

Ved AU Foulums biogasforsøgsanlæg er der etableret et forbehandlings- og indfødning-anlæg. Anlægget i Foulum anvender en ekstruder før forgasningen, og det giver en bedre nedbrydning af det biologiske materiale. Der produceres fra 10 til 27 procent mere gas ved ekstrudering. Der er også en positiv energibalance. Hvis der bruges ca. 100 kWh pr. tons materiale, der går ind i ekstruderen, kommer der omkring 500 kWh ekstra ud af det.

Først smides ballerne op biomikseren, der minder om en foderblander – en stor beholder med tre vertikale blandesnegle. Her rykkes ballerne op. Herefter klemmes og knuses græsset i en ekstruder, så det åbnes op og får en større overflade. Det giver et produkt, der er nemmere at arbejde med. Når materialet er lukket op, er det lettere at trække gassen ud i reaktoren. Ekstruderens kapacitet ligger på 1,2-1,5 tons i timen. Et transportbånd og en snegl fører græsset ind i toppen af reaktoren. Der går en del energi til forbehandlingen, men i forhold til det energi, der trækkes ud af materialet, går der mindre end ti procent til forbehandlingen. I enggræs er der et samlet energipotential på 1.558 kWh pr tons friskvægt, men der produceres ca. 467 kWh mere ved at køre det gennem ekstruderen. Anlægget kan håndtere enggræs med 70-85 procent tørstof, men også dybstrøelse og halm.

5.2 Introduktion

Det har i projektet været forudsat, at der skulle foretages en investering i en økologisk biogasreaktor og en indfødningseenhed ved AU på Foulum. Dette blev senere ændret til en ombygning af de eksisterende anlæg til at kunne håndtere, forbehandle og indføde enggræs samt lagerfaciliteter m.m. Der har været afholdt to offentlige EU-udbud på investeringen og der blev skrevet kontakt med et firma om den samlede entrepris. I projektføreløbet er forudsætningerne om enggræssets sammensætning, blevet ændret som følge af at det to år i træk, har vist sig, at tørstofindholdet har været 80 % istedet for de 38 % der var forudsat fra projektets start. Dette betyder, at forbehandling er helt afgørende for, at enggræsset kan behandles med den biogasteknologi, der anvendes i dag og der er derfor blevet investeret i en bioekstruder. Der har været lagt vægt på, at forbehandlingsanlægget har en høj kapacitet og automatiseringsgrad samt en effektiv mekanisk/fysisk behandling, der vil øge biogaspotential. Kapacitet og energiforbrug er blevet målt og der er blevet foretaget en del justeringer for at optimere driften.

5.3 Materialer og metoder

Nedenstående er hovedkomponenterne i det etablerede anlæg beskrevet.

Rustfri biomixer

- Biomixer type 50/3M/50 for opblanding og dosering af biologisk materiale til biogasreaktor.
- Volumen: 50 m³ lagerkapacitet.
- Miksesnekker: 3 stk. mikserhoveder i rustfri stål.
- Motor: 3*30 kW.Gear: 3 planetgear i ekstra kraftig udgave med forstærkede kardanel.
- Bund: Rustfri stål med åbning for udtrækssnegl type 450

Bioekstruder:

- Bioekstruder type MSZ-B74e.
- Detektorbånd med metaldetektor og stenfælde. Rustfri faldstamme og afgangsrør. Opbygget med lokalstyring.
- Redlersystem fra Bioextruder til biogasreaktor. Kæderne er påmonteret med bringere for frembringning af biomassen.

I figur 5.1 er anlægget vist.

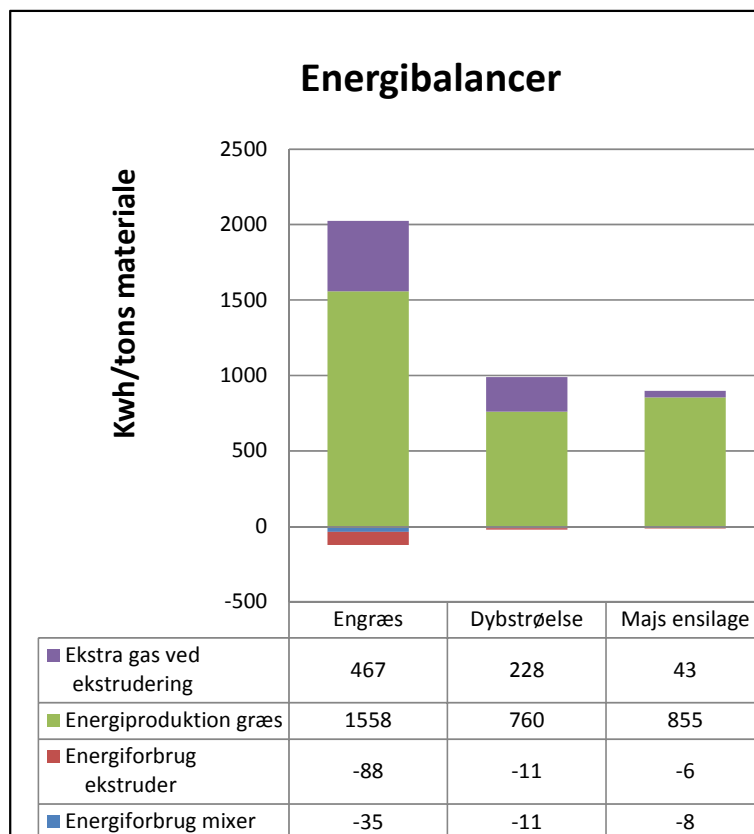


Figur 5.1 Illustration af ekstruder og indfødningsanlæg til fast biomasse

5.4 Resultater

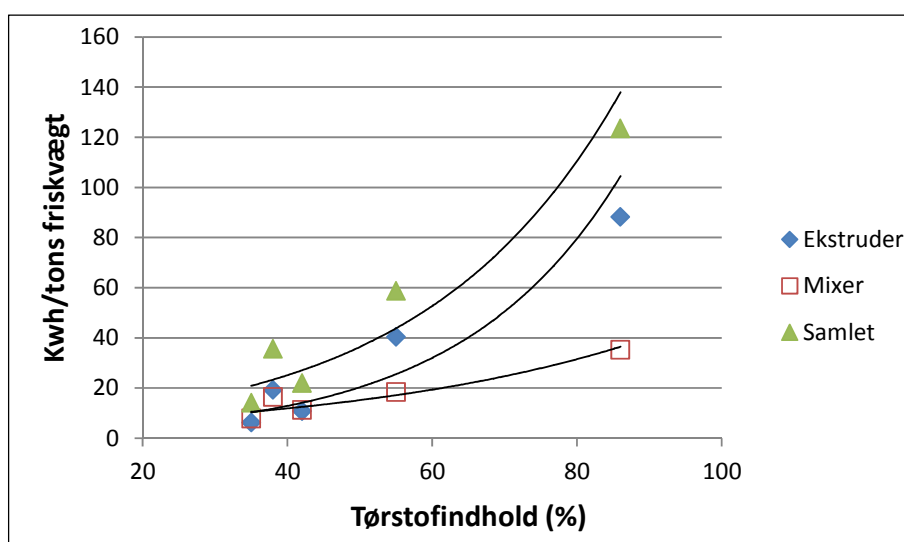
Der har været udført en række forsøg med biogaspotentialer af halm, græs og fast husdyrgødning, herunder effekt af ekstrudering.

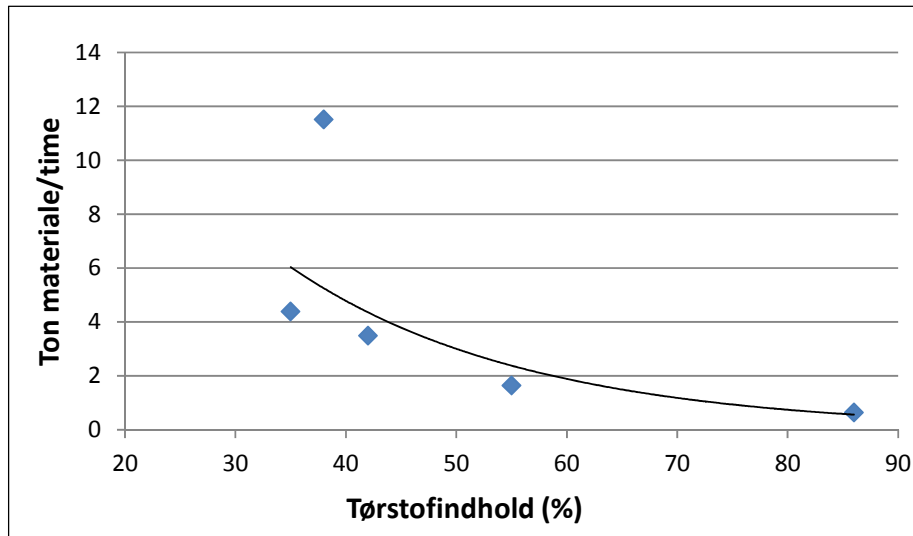
Kapacitet og energiforbrug ved forbehandling er blevet målt og der er blevet foretaget en del justeringer for at optimere driften. I figur 5.2 er energiproduktion og forbruget for tre biomasser illustreret. I dybstrøelse og enggræs opnås der en stor energigevinst ved ekstrudering, som kun i mindre omfang ophæves af energiforbruget. 10-25 % af den ekstra energi der udvindes, bruges til forbehandlingen. Energiforbruget til ekstruderingen er meget afhængig af tørstofindholdet i biomassen.



Figur 5.2 Energibalancer ved forbehandling.

I figur 5.3 er energiforbruget og kapaciteten som funktion af tørstofindhold angivet og det fremgår at energiforbruget til både ekstruder og fødeenhed stiger eksponentielt med stigende tørstofindhold.





Figur 5.3 Energiforbrug (øverst) og kapacitet (nederst) af ekstruder og fødeenhed som funktion af stigende tørstofindhold.

5.5 Diskussion og konklusion

Ekstruderens kapacitet ligger på 0,7-11,5 tons i timen. Et transportbånd og en snegl fører græsset ind i toppen af reaktoren. Der går noget energi til forbehandlingen, men i forhold til det energi, der trækkes ud af materialet, går der mindre end ti procent til forbehandlingen. I enggræs er der et samlet energipotential på 1.558 kWh pr tons friskvægt og der kommer 467 kWh mere ud af det i form af biogas ved at køre det gennem ekstruderen. Anlægget kan håndtere enggræs med 70-85 procent tørstof, men også dybstrøelse og halm. Den type produkter er det normalt svært at behandle i et traditionelt biogasanlæg pga. flydelagsdannelse og omrøringsproblemer. Energiforbruget stiger eksponentielt med tørstofindholdet og blanding af meget tør biomasse som enggræs og dybstrøelse giver et god blanding med lavere energiforbrug per kg tørstof, end hvis der kun anvendes meget tør biomasse.

6. ØKOLOGISK BIOGAS / GØDNINGSANLÆG

Peter Jacob Jørgensen og Michael Tersbøl

6.1 Sammendrag

Det er muligt at etablere mindre økologiske biogasanlæg/gødningsanlæg baseret på fortrinsvis enggræs høstet med et naturplejeformål. Det vil være muligt at drive et anlæg med et mindre økonomisk overskud. De landbrugsmæssige og ikke mindst naturmæssige fordele ved et sådan system er mange og særdeles interessante.

6.2 Introduktion

I fase 1 i BioM-projektet er der på biogasanlægget i Foulum blevet etableret et anlæg til udnyttelse af enggræs fra Nørreå-dalen i fuld skala (se afsnit 5). Anlægselementerne omfatter en hal, en ekstruder samt et system til direkte indfødning af forbehandlet enggræs i form af hø (op til 85 % tørstof). Dette system blev med nogen forsinkelse sat i drift i det sene forår 2012 og siden er erfaringer herfra blevet indsamlet.

Som et led i fase 2 i BioM-projektet har det været planlagt, at konkrete erfaringer fra fase 1 mht. etablering af anlæg og udnyttelsen af enggræs i videst muligt omfang skal anvendes til forslag til design af et 2. generationsanlæg byggende på disse erfaringer. For at gøre nærværende delprojekt (fase 2) så virkelighedsnært som muligt og med en rimelig chance for at blive realiseret, er projektet etableret som et almindeligt forprojekt, med en arbejdsgruppe bestående af en række interesserede økologiske landmænd nedsat til at følge projektet.

6.3 Materialer og metoder

Ved gennemførelse af et forprojekt er det hensigtsmæssigt at følge en rimelig logisk rækkefølge og skabelon. Forprojektet skal have et omfang så en evt. beslutning om realisering, kan tages på et kvalificeret og sikkert grundlag. I dette tilfælde er følgende arbejdsområder fulgt i nævnte rækkefølge:

- Sammensæt en arbejdsgruppe af interesserede
- Definér problemstillingen (hvorfor: grøn energi, økologisk gødning m.m.)
- Indsaml og analysér biomassegrundlag
- Beregn biogaspotentiale og næringsstofsammensætning m.m.
- Beregn økonomiske konsekvenser for landbrug, der indgår i samarbejdet
- Analysér energiafsætningsmuligheder
- Indkreds fornuftig placeringsmulighed
- Dimensionér anlæg og vælg koncept efter biomasse-mængde og -sammensætning
- Prissæt anlæg
- Definér økonomiske forudsætninger
- Foretag økonomiske beregning incl. følsomhedsanalyser
- Beskriv miljømæssige følgevirkninger af realiseringen
- Beskriv organisationsplan/muligheder
- Beslut evt. videreførelse
- Planlæg det videre arbejde

6.4 Resultater

Til et fase 2 anlæg er det realistisk at kunne indsamle op mod 20.000 tons biomasse årligt. Mængden er fremkommet ved indsamling af data fra interesserede landbrug og til lægge omkring 25 % for at tage højde for en øget interesse/mulighed for udvidelse. Med denne biomasse kan potentielt produceres omkring 2,5 mio. m³ biogas.

Størsteparten af biomassen består af enggræs med et højt tørstofindhold. Kun en mindre del er flydende. Det medfører nogle udfordringer for et fuldt omrørt anlæg (CSTR-anlæg) af teknisk karakter. For at pumpe og omrøre anlægget må en stor del af den afgassede biomasse derfor separeres i en fast og flydende form, hvor den flydende del recirkuleres til opblanding. Hertil kommer, at der også må tilsættes vand. Forholdet mellem vand og recirkuleret væske må i praksis findes gennem erfaring.

Mulighederne for afsætning af gas er analyseret og umiddelbart vil en løsning med opgradering og afsætning til naturgasnettet være mest hensigtsmæssig. Afsætning til lokale kraftvarmewærker kan også være en mulighed. Men ingen af de aktuelle værker kan aftage hele gasproduktionen i sommerperioden, hvorfor denne løsning vil blive mindre økonomisk attraktiv.

Der er derfor regnet videre på opgraderingsløsningen. Anlægget er dimensioneret efter de givne biomasser med recirkulering og vandtilsætning, i alt 60.000 m³ pr. år. Desuden er inkluderet en ekstruder til forbehandling af svært nedbrydelige biomasser, især enggræs.

I alt er investeringen beregnet til 27,02 mio. kr. Der er regnet med 30 % tilskud efter energiforliget. I så fald balancerer selskabsøkonomien under de forudsatte økonomiske forudsætninger med et gennemsnitligt årligt overskud på ca. 400.000 kr.

Balancen er især negativt følsom over for øgede driftsudgifter og/eller et lavere gasudbytte end forventet. Tilsætning af større gylle- og/eller dybstrøelsesmængder i stedet for energiafgrøder (der er dyre i indkøb) forbedrer regnskabet betydeligt.

Miljømæssigt medfører naturgasfortrængningen m.m. en reduktion af drivhusgasser på ca. 3.500 tons CO₂-ækvivalenter årligt. Hertil kommer en bedre kvælstofudnyttelse og et mindre tab, der dog ikke er kvantificeret.

Beregning af økonomien for syv bedrifter viser, at deres dækningsbidrag i gennemsnit forbedres med otte procent, men der er stor variation mellem bedrifterne.

6.5 Diskussion

Store mængder faste og små mængder flydende biomasser medfører, at der må satses på recirkulering af separeret væske og tilsætning af vand. Det giver en stor mængde flydende gødning. Fordelen er, at der vil kunne produceres tre forskellige gødningstyper: Afgasset usepareret, separeret væske og fiber med tre forskellige næringsstofsammensætninger og anvendelsesmuligheder, hvilket landbrugsmæssigt kan være en fordel. Forholdet mellem de tre typer må findes i praksis. Driftsøkonomien på landbrugene med biogasdrift er følsom over for koncentrationen af kvælstof i biogasgyllen. Det vil givetvis være hensigtsmæssigt at dels begrænse mængden af tilført vand (for at mindske transporten) og dels at begrænse mængden, der må separeres (for at spare driftsudgifter).

Tilsyneladende kan et anlæg af denne type økonomisk hænge sammen, dog ikke med et "prangende" resultat. Man må dog antage, at de landbrugsmæssige fordele vil være langt større og væsentligere for en evt. realisering af projektet.

6.6 Konklusion

Det må konkluderes, at det er muligt at etablere økologiske biogasanlæg, som har som hovedformål at producere biogas og ikke mindst økologisk gødning på basis af især enggræs høstet med naturplejeformål.

Resultaterne er tilsyneladende så lovende, at det må anbefales at arbejde videre mod en realisering. I den sammenhæng er det væsentligt, at interessenterne - økologiske landbrug – etablerer en juridisk organisation, der kan videreføre arbejdet.

6.7 Referencer

Jørgensen, P.J., Nielsen, K.J. & Odgård, A.M., 2012. Økologisk biogasfællesanlæg ved Nørreådal. Forprojekt for Øko-biogasanlæg 2.0 i BioM-projektet. Delrapprt fra BioM-projektet. www.agrotech.dk/biom

7. PROCESTEKNIK TIL FORBEHANDLING AF HALM

Lars-Gunnar Johansson

7.1 Sammendrag

Projektet "Halm som biogassubstrat" är ett av sju delprojekt som ingår i EU-projektet BioM och samordnas av Agroväst i Skara. Det genomförs i samverkan med expertis från Norge och Danmark och Business Region Göteborg är ansvarig för delprojektets genomförande. Utvärderingen har gjorts med avseende på tekniska och ekonomiska möjligheter.

Lignocellulosarika biogassubstrat som halm är svåra att omsätta varför de behöver förbehandlas för att snabba på nedbrytningshastigheten. Exempel på förbehandlingsmetoder är mekanisk, termisk, kemisk och enzymatisk. En annan strategi vid rötning av dessa halmrika substrat är att dimensionera biogasanläggningen, så att substratet får en lång uppehållstid i röt-kammaren. Förbehandling och lång uppehållstid kan med fördel kombineras för att uppnå högt gasutbyte.

Generellt kan sägas, att det är viktigt med en effektiv sönderdelning av halmrika substrat innan rötning, om uppehållstiden är kort och detta kan mycket väl fördubbla gasproduktion jämfört mot om det inte görs någon förbehandling.

Det kan konstateras att det finns ett stort spann gällande de specifika gasutbyten som litteraturen redovisar vid satsvisa utrotningsförsök med halm, men detta gäller även för andra substrat. Orsaken till det kan bero på många saker som den försöksutrustning som används, noggrannhet vid provhantering och avläsningar, om provet har en heterogen sammansättning eller skillnad i omsättbarhet, hur halmen har förbehandlats innan den rötas, uppehållstiden i röt-kammaren, men även hur anpassad ympen är som används för försöket till aktuellt substrat och om det blir en initial fas i början av försöket med låg nedbrytningshastighet (s.k. lagfas).

Förbehandling av halmrika substrat medför högre kapitalkostnader och underhållskostnader för en biogasanläggning men även högre kostnader för processenergi och för kemikalier. Dock torde det vara nödvändigt att säkerställa att partikelstorleken på halmrika biogassubstrat inte är för stor då traditionell våtrötningsteknik används.

Det kan konstateras att det specifika metanutbytet som erhöles vid denna studie generellt var högt och i synnerhet gäller detta för den inledande 30 dagarna vid de satsvisa försöken. Orsaken till detta kan bero på flera parametrar men troligen är den viktigaste orsaken att den ymp som användes vid försöket var anpassad till att bryta ner lignocellulosabaserat material.

Marknadspriset för halmpellts är allt för hög för att det skall vara ekonomiskt försvarbart att producera biogas med denna produkt. Däremot finns det förutsättningar för att det ekonomiskt ska gå att producera biogas i gårdsanläggningar byggda för flytgödselrötning, där det finns en ej utnyttjad överkapacitet med att samtröta hästgödsel i från stallar, som använder pelleterad halm som strömedel. Intresset för detta finns både från häst- och biogasbranschen, men ingen har i någon större skala testat detta i Sverige.

7.2 Introduktion

Bakgrund

Biobränslen framstår som ett av de främsta alternativen att ersätta fossila bränslen med tanke på den stigande oron för följderna av växthuseffekten. Biobränslen betraktas som koldioxidneutrala, eftersom den koldioxid som frigörs vid förbränning återanvänds vid växternas fotosyntes. Andra fördelar med biobränslen är minskat beroende av importerade bränslen, ökad sysselsättning på landsbygden, stimulans av regionala/lokala ekonomier etc.

Halm är en biprodukt efter spannmålsodling men också efter oljeväxter när kärnor och frön borttagits vid tröskningen. Halm från speciellt spannmålsodling utgör en icke obetydlig potential där vi för riket som helhet kan prata om en teoretisk potential på 5 TWh och för Västra Götalands del 1 TWh.

Den halm som främst används för bränsleändamål är halm från höstvede, eftersom det i jämförelse med andra sädeslag har hög avkastning och mognar relativt tidigt, vilket möjliggör en längre skördeperiod. Även halm från råg, rågvete, korn och havre används. För att långsiktigt bevara markens mullhalt och därmed dess avkastningsförmåga, brukar man rekommendera att man i spannmålsdominerade områden inte skall bärga halmen mer än en gång i växtföljen, och att bärgning bör undvikas helt om mullhalten understiger 4 % (Nilsson 1999).

Vid biogasanläggningar som rötar kväverika material uppstår det ofta en obalans i kol/kväveknot och för att motverka detta behövs ett kolrikt material som t.ex. halm. Även halmrik hästgödsel utgör en viktig potential och många hästanläggningar har betydande kostnader för kvittblivning av denna rätt näringsfattiga gödsel. Strategiskt kan halm användas tillsammans med gödsel för att få bättre lönsamhet i biogas på gårdsnivå.

Biogaspotentialen från hästgödsel är betydande eftersom antalet hästar i Sverige är större än antalet mjölkkor (www.jordbruksverket.se). För att uppnå en så optimal biogasproduktion som möjligt på halm krävs att halmens cellstruktur förbehandlas och detta har provats genom en komplicerad och kostsam s.k. ångsprängning med överhettad vattenånga under tryck. Det är därför av mycket stort intresse att hitta och utprova en ny teknik som också är kostnadseffektiv för förbehandling av halm till biogasproduktion.

Syftet

Syftet är att gentemot den primära målgruppen som är aktiva lantbrukare och rådgivare skapa en betydande kunskaps- och kompetenshöjning i länderna kring Skagerak och Kattegatt vilket definieras enligt nedan.

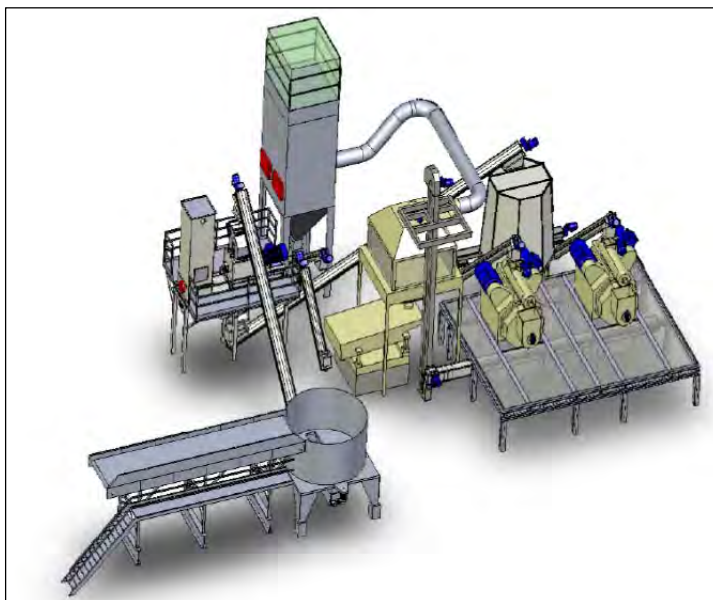
- Lämplig teknik och kostnad för pelletering
- Rötningsresultat för pelleterad halm jämfört med icke pelleterad halm
- Rötningsresultat för pelleterad halm jämfört med rötning av ångsprängd halm
- Rötningsresultat för pelleterad halm använd som strömedel till hästar jämfört med pelleterad halm
- Lämpliga system för logistik och transporter av olika former av halm, främst balad eller pelleterad
- Pelleternas hållbarhet och transporttålighet
- Kostnad för logistik och transporter av halm och pelletter.
- Ekonomisk värdering avseende gårdsbaserad biogasproduktion där gödsel och pelleterad halm används.

7.3 Materialer og metoder

Aktuella leverantörer av halmpressar har visat att det finns relativt få i Sverige. Ett relevant företag har valts. (Grontmij, Peter Berglund, Rapport BEHHALM 2011-06-17)

Tabell 7.1 Leverantör av pelletspress.

Leve- rantör	Kapacitet (kg/tim)	Inköpskostn. (msek)	Drift (kWh/ton)	Under- hållskostn. (kr/ton)	Kommentar
SPC Swe- den Power Chippers AB	Drygt 2000	2	100-120	30-35	Årskapacitet 6000 ton ~ drygt 2000 kg/tim. Tillkom- mer halmhack



Figur 7.1

Pelletering

De ekonomiska beräkningarna är uppdelade i hela kedjan från inköp av halm/transport, lagring till pelletering/lagring. (Grontmij, Peter Berglund, Rapport BEHHALM 2011-06-17)

Satsvis rötning av halmpellets/brikett

Sju prover av kvalitetshalm transporterades till JTI från två tillverkare (Tabell 7.2).

Tabell 7.2 Översikt - Sju prover av kvalitetshalm.

	Prov 1	Prov 2	Prov 3	Prov 4	Prov 5	Prov 6	Prov 7
Tillverkare 1	Halm			Pellets	Kattströ	Pellets/- hästgödsel	Brikett
Tillverkare 2		Pellets	Liggbäsströ				

Halmpellets innehåller inga tillsatser utan är ren svensk halm som är malen och därefter sammanpressad till pellets och paketerad i smäsäck eller storsäck. Kattströ är en relativt ny produkt från en av tillverkarna och påminner om vanlig halmpellets men där pelletsen är något mindre. Briketter är inte lika finfördelat före briketteringen som pellets. Liggbåsströ är i grunden en brikett som sedan sönderdelats för att kunna användas som strömedel till nöt, gris och fågel.

De satsvisa utrötningarna utfördes i 1 L-flaskor vid 37°C med ymp hämtad från Västerås biogasanläggningen vars TS-halt på våtviktbasis var 4,72 % och VS-halt på 3,10 %. Varje prov som utrötats har genomförs i tre replikat. Metodiken för dessa satsvisa försök följer de riktlinjer som Carlsson m fl. (2011) anger för hur satsvisa försök skall genomföras.

Marknad

De ekonomiska beräkningarna är uppdelade i hela kkedjan från inköp, transport och biogas.

7.4 Resultater

Inköp av halm

Priset på balad halm är satt till 0,60 kr/kg fritt säljaren. Kostnaderna för lastning, transport av halmbalar och lossning. Det genomsnittliga transportavståndet till lager är satt till 10 km enkel väg. Transport sker med lastbil och antalet balar per bil uppgår till 64 stycken. Tiden för lastning är estimerad av Lantmännen. I övrigt bygger uppgifterna på information från Harplinge Lantmän och maskinstationstaxor.

Tabell 7.3. Lastning och lossning plus transport till lager (inom 10 km)

Balar		Enhet
Höjd	0,7	m
Djup	1,2	m
Längd	2,35	m
Volym	1,974	m ³
Balar/last	64	st.
Densitet	125	kg/m ³
Totalvikt/last	15,8	ton
Lasttid	60	min
Medelhastighet	30	km/h
Transportkostnad	0,25	kr/kg

Lager

Lagerkapaciteten uppgår till 80 % av halmproduktionen om inköp sker från augusti till september eller början av oktober. Mängden halm är satt till 5000 ton/år. Samma lager kan användas för lagring av halmbalar och halmpellets. Branrisken är mycket liten eftersom kylning v pelletsen sker i pelleteringsprocessen.

Tabell 7.4 Lagerkostnader för halm och pellets

Lager	80	%
Mängd	5000	ton
Lagermängd	4000	ton
Densitet	125	kg/m ³
Volym	32000	m ³
Höjd	4	m
Lageryta	4000	m ²
Pris	1800	kr/m ²
Investering	7 200 000	kr
Kapitalkostnad*	468 000	kr/år
Lagerkostnad	0,12	kr/kg

*30 år, 6 % ränta

Om halmen lagras i befintliga byggnader på gården sjunker givitsvis lagringskostnaden.

Pelletering

Pelleteringskostnader med SPC-teknik har en gedigen konstruktion som kan byggas ut i flera linjer.

Tabell 7.5. Pelletering med SPC-teknik

Pelletering, SPC		Enhet
Kapacitet	2000	kg/tim
Mängd	5000	ton/år
Maskinkostnad	3	msek
Montering, installation	0,20	msek
Överbyggnad	0,04	kr/kg halm
Kapitalkostnad*	0,15	kr/kg halm
Hackning	0,07	kr/kg halm
Drift (240kWh)	0,12	kr/kg halm
Underhåll	0,08	kr/kg halm
Arbete**	0,09	kr/kg halm
Material, plast	0,02	kr/kg halm
Oförutsett, 15 %	0,09	kr/kg halm
Produktionskostnad, pelletering	0,66	kr/kg halm

* 5 års avskrivningstid, 6 % ränta, ** 75 % tjänst

Totala kostnader för halmpelletsproduktion

Tabell 7.6. Totala kostnader för halmpelletering

Inköp av halm	0,60	kr/kg halm
Transporter, lastning/lossning	0,25	kr/kg halm
Lager	0,12	kr/kg halm
Pelletering	0,66	kr/kg halm
Produktionskostnad	1,63	kr/kg pellets
Vinstmarginal (15 %)	0,25	kr/kg pellets
Moms (25 %)	0,47	kr/kg pellets
Försäljning vid lager	2,35	kr/kg pellets
Försäljning vid lager	1,88	kr/kg pellets

inkl moms

exkl moms

Satsvis rötning av halmpellets/brikett och hästgödsel

Metanproduktion från utrotningsförsöken presenteras i tabell 7.7. Metanproduktionen pågick fortfarande efter 92 dagar, men den var låg i förhållande till den ackumulerade metanproduktionen varför försöket avbröts. Metanproduktionen efter 92 dygn ger en god approximation av den maximala mängden metan som kan utvinnas, medan värdena för 16, 25, 30 och 45 dygn ger riktvärden för vanligare uppehållstider i en röt-kammare.

Tabell 7.7: Metanutbyte anges (normal $m^3 CH_4$ /ton VS) vid olika tidpunkter (16-92 dygn).

Prov	TS(%)	VS(%)	Metanutbyte (N-m ³ CH ₄ /ton VS)					Metanhalt
			16 dygn	25 dygn	30 dygn	45 dygn	92 dygn	%
Prov 1	83,7	81,6	124 ± 4	232 ± 5	245 ± 6	284 ± 5	317 ± 6	61 ± 2
Prov 2	90,1	85,8	152 ± 10	269 ± 7	284 ± 8	315 ± 23	343 ± 23	58 ± 2
Prov 3	89,7	86,3	119 ± 12	242 ± 7	259 ± 7	283 ± 6	306 ± 5	58 ± 3
Prov 4	88,1	85,3	128 ± 4	265 ± 38	281 ± 37	306 ± 37	328 ± 39	56 ± 3
Prov 5	89,3	84,8	126 ± 1	270 ± 27	292 ± 24	320 ± 20	350 ± 17	58 ± 3
Prov 6	37,6	33,5	109 ± 42	215 ± 42	228 ± 42	262 ± 44	296 ± 46	58 ± 2
Prov 7	90,05	85,8	113 ± 14	273 ± 12	291 ± 10	319 ± 17	361 ± 11	57 ± 3

En iakttagelse är att efter 30 dygn hade alla prover producerat mellan 77 och 86 % av det maximala metanutbytet vid 92 dygn. Erfarenheterna från försöket visade att vid blandning av halmpellets med ymp löste samtliga pellets upp sig utan att någon extra sönderdelning behövdes, vilket borde öka villigheten att ta emot denna typ av material vid biogasanläggningar, som är baserade på totalomblandade röttningsprocesser. Ytterligare en iakttagelse är, att det inte blir några problem med svämtäckesbildning, vilket det gärna kan bli med hackad halm.

Marknad för halmpellets samt hästgödsel

Halmpellets är relativt nytt och används i huvudsak som strömedel till hästar där fördelarna är flera. Ex. lätta och smidiga säckar att hantera, stor uppsugningsförmåga, lättarbetad och mindre arbete vid gödsling, mindre gödselvolym.

För många hästgårdar är avyttringskostnaderna en betydande del vid vanlig halmhantering och här kan hästgårdarna se en marknad hos biogasproducenter för att få ner kostnaderna, eftersom det är betydligt enklare att röta gödsel med halmpellets.

Ytterligare en tänkbar marknad skulle kunna vara biogasanläggningar som samrötar olika substrat, där det ofta kan uppkomma höga kvävenivåer. Här skulle pelleterad halm kunna förbättra kol/kvävekvoten för att åstadkomma en bättre process.

Priset på halmpellets varierar något i Sverige mellan tillverkarna. Inhämtade uppgifter ger ett pris på mellan 2,90 – 3,50 kr/kg (exkl. moms) fritt tillverkare. Transportkostnaderna vid stora beställningar, hela lastbilar, blir frakten endast 0,16 kr/kg (exkl. moms).

Baserad på det redovisade gasutbytena i de satsvisa försöken i denna studie efter 45 dagars rötning samt att 75 % utbyte vid kontinuerlig rötning blir priset för biogasen vid råvarukostnaden på 3,50 kr/kg pellets ca 1.72 öre/kWh producerad biogas. Detta är ungefär 4-6 ggr så högt mot vad Edström m. fl., (2008) rapporterade som råvarukostnaden för energigröda då ensilerad gräs/majs eller vete (endast kärnan) rötas.

Det finns idag fler än 30 gårdsanläggningar i Sverige som huvudsakligen rötter gödsel och använder biogasen för kraftvärmeproduktion. Många av dessa anläggningar bedöms ha utrymme för att röta mer organiskt material som t.ex. fastgödsel från hästar, men gårdsanläggningarna saknar förbehandlingsutrustning för att förbehandla fastgödsel. Om hästgårdar använder pelleterad halm som strömedel kanske det ej behövs något separat sönderdelningssteg vid gårdsanläggningar som kan tänkas röta denna gödsel. Det går att göra bedömningen att produktionskostanden för biogas vid gårdsanläggningar ej får överstiga 15-20 öre/kWh biogas för kraftvärmeproduktionen med biogas skall vara ekonomisk (Brown m. fl., 2010). Denna produktionskostnad går att uppnå baserat på att alla kostnader kopplat till att transportera, röta och lagra och sprida hästgödseln inte överstiga 100-130 kr/ton hästgödsel samt att gasutbytet vid kontinuerlig rötning av hästgödseln motsvarar 75 % av det som erhöles i försöken efter 45 dagars satsvis utrötning (Prov 6). När en prisjämförelse görs med vanlig halmhantering och ströhantering med pellets blir kostnaderna betydligt högre för pellets, men det kan finnas andra fördelar som förbättrad arbetsmiljö och enklare hantering. Dock kostar det dock ofta pengar för hästägaren att bil av den producerade gödseln och dessa kostnader kanske kan sjunka om hästgödseln kan rötas. En djupare ekonomisk analys över konsekvenserna att använda pelletsbaserad halmströ till hästar för de olika aktörerna kopplat till att producerad hästgödsel därefter rötas ryms dock ej i detta projekt.

7.5 Diskussion

Tolkning av resultat vid genomförda satsvisa försök till kontinuerlig rötning-process

Ofta görs bedömningen att det vid en kontinuerlig rötningprocess utvinns 70-80 % av vad som erhålls vid en satsvis utrötning. Uppehållstiden för kontinuerliga rötningprocesser som drivs inom det mesofila temperaturområdet är ofta mellan 20 -30 dagar. Utgående från data från satsvisa försöken i tabell 7.7 skulle detta innebära att specifika metanutbytet för en process med 25 dagars uppehållstid skulle ligga inom 174-205 liter metan/kg VS då enbart halm rötas (kalkyl baserad på att 75 % av den satsvisa gasprodukti-

onen erhålls) om ett efterröttningssteg saknas. Om det däremot också finns ett efterröttningssteg med 20 dagars uppehållstid (den totala uppehållstiden i de två röt-kammarna blir då 45 dygn) skulle ligga inom 212-240 liter metan/kg VS då enbart halm rötas. Med ett efterröttningssteg skulle alltså gasproduktionen kunna höjas med 15-22 %.

Resultat från andra satsvisa utröttningsförsök med halm och hästgödsel

Lignocellulosarika biogassubstrat som halm är svåra att omsätta varför de behöver förbehandlas för att snabba på nedbrytningshastigheten. Exempel på förbehandlingsmetoder är mekanisk, termisk, kemisk och enzymatisk. En annan strategi vid rötning av dessa halmrika substrat är att dimensionera biogasanläggningen så att substratet får en lång uppehållstid i röt-kammaren. Förbehandling och lång uppehållstid kan med fördel kombineras för att uppnå högt gasutbyte.

I tabell 7.8 finns det sammanställt data från några satsvisa försök på halm/hästgödsel där effekten på specifika metanutbytet med förbehandling och uppehållstid belyses. Generellt kan sägas, att det är viktigt med en effektiv sönderdelning av halmrika substrat innan rötning, om uppehållstiden är kort. Det kan mycket väl fördubbla gasproduktion jämfört mot om det inte görs någon förbehandling alls. Om däremot biogasanläggningen dimensioneras så att uppehållstiden blir lång för det svårömsattbara materialet i röt-kammaren, kommer den positiva påverkan av en effektiv förbehandling i mindre grad att synnas på det slutgiltiga gasutbyte.

Tabell 7.8 Exempel på hur specifika metanproduktionen (Spec. metan) för halm/hästgödsel påverkas antingen av olika förbehandlingsmetoder, dels av olika uppehållstider (Tid) i röt-kammaren.

		Tid	Spec. metan	Referens
		dagar	l/kg VS	
Korn	Obehandlad	28	Ca 160	Hjort m. fl., 2011
Korn	"Extrusion (värmepressning)	28	Ca 280	-"-
Korn	Obehandlad	90	Ca 320	-"-
Korn	"Extrusion (värmepressning)	90	Ca 360	-"-
Vete	30x5 mm partikelstorlek	60	162	Sharma, 1988
Vete	Ca 0,08 mm partikelstorlek	60	249	-"-
Vete	Hackad	30	Ca 125	Nordberg m. fl., 1997
Vete	Hammarkvarn	30	Ca 260	-"-
Vete	Hackad	70	Ca 250	-"-
Vete	Hammarkvarn	70	Ca 310	-"-
Vete	0,5-1 mm	?	275	Bauer m fl., 2009
Vete	Ångexklosion, 180 °C	?	331	-"-
Hästgödsel, hamlmströ	5 – 10 mm partiklar	30	126	Nilsson, 2000
Hästgödsel, hamlmströ	5 – 10 mm partiklar	60	179	-"-

Exempel på divergerande resultat vid satsvisa försök

Det kan konstateras, att det finns ett stort spann gällande de specifika gasutbyten som litteraturen redovisar vid satsvisa utrötningförsök med halm, med detta gäller även för andra substrat. Orsaken till det kan bero på den försöksutrustning som används, noggrannhet vid provhantering och avläsningar, om provet har en heterogen sammansättning eller skillnad i omsättbarhet, hur halmen har förbehandlats innan den rötas, uppehållstiden i röt-kammaren, men även hur anpassad ympen är som används för försöket till aktuellt substrat och om det blir en initial fas i början av försöket med låg nedbrytningshastighet (Carlsson m. fl. , 2011). Exempel på litteraturdata som avviker från normalvärden är:

- Biskupek (1998) som redovisar ett mycket högt spann på gasutbyte för spannmålshalm på 300-600 l CH₄/kg VS.
- Teghammar m.fl. (2012) som redovisar ett mycket lågt värde på gasutbyte för rågvete-halm (mindre än 1 mm partikelstorlek) på 34 l CH₄/kg VS.

Andra aspekter kopplat till sönderdelning

Förbehandling av halmrika substrat medför högre kapitalkostnader och underhållskostnader för en biogasanläggning men även högre kostnader för processenergi och för kemikalier. Dock torde det vara nödvändigt att säkerställa att partikelstorleken på halmrika biogassubstrat inte är för stor då traditionell våtrötningsteknik används, huvudsakligen kopplat till att säkerställa, att röt-kammaren är totalomblandad (Nordberg m.fl., 1997). Om rötning av halmrika substrat sker med torrötningsteknik, föreligger dock inte detta tekniska sönderdelningsbehov för att få denna teknik att fungera.

7.6 Konklusion

Det kan konstateras att det specifika metanutbytet som erhöles vid denna studie generellt var högt och i synnerhet gäller detta för de inledande 30 dagarna vid de satsvisa försöken. Orsaken till detta kan bero på flera parametrar, men troligen är den viktigaste orsaken, att den ymp som användes vid försöket var anpassad till att bryta ner lignocellulosabaserat material. Jämfört med några andra rapporterade studier kan följande jämförelse göras:

- För obeandlad halm (prov 1) var det specifika metanutbytet oväntat högt och låg strax under vad Nordberg m. fl. (1997) rapportera för vetehalm som sönderdelats med hammarkvarn dels efter 30 dagars satsvis rötning och dels strax över vad som rapporterades efter 92 dagars satsvis rötning, se tabell 7.8. Vid motsvarande jämförelse mot gasutbytet från hackad/obehandlad vetehalm/kornhalm resulterade i att det specifika metanutbytet från prov 1 efter ca 30 dagars rötning blev 53 % / 96 % högre jämfört mot vad som har rapporterats av Nordberg m. fl. (1997)/Hjort m. fl. (2011) efter motsvarande utrötningstid.
- För förbehandlad halm (prov 2-5 och prov 7) var det specifika metanutbytet också högt och låg dels i nivå med vad Hjort m. fl. (2011) rapporterade för kornhalm som förbehandlat med ångexplosionsteknik efter ca 30 dagars satsvis rötning, dels så erhöles 85 % -100 % av vad Hjort rapporterade efter ca 90 dagars satsvis rötning, se tabell 7.8.
- För hästgödsel som använt halmströ i form av pellets (prov 6) var det specifika metanutbytet högt och låg ca 80 % högre än vad Nilsson (2000) rapporterade ef-

ter 30 dagars satsvis rötning av hästgödsel, men skillnaden bedöms ha sjunkit till ca 50 % högre specifikt gasutbyte efter ca 60 dagars satsvis rötning, se tabell 7.8.

- För hästgödsel som använt halmströ i form av pellets (prov 6) låg den ackumulerade specifika metanproduktionen som funktion av uppehållstiden strax under vad Nordberg m. fl. (1997) rapporterade vid satsvis utrötning av flytgödsel från mjölkkor.

Marknadspriset för halmpellits är idag allt för hög för att det skall vara ekonomiskt försvarbart att producera biogas. Däremot finns det förutsättningar för att det ekonomiskt ska gå att producera biogas i gårdsanläggningar byggda för flytgödselrötning där det finns en ej utnyttjad överkapacitet med att samtröta hästgödsel från stallar som använder pelleterad halm som strömedel. Intresset för detta finns både från häst- och biogasbranschen, men ingen har i någon större skala testat detta i Sverige.

7.7 Referenser

Grontmij, Peter Berglund, Rapport BEHHALM 2011-06-17

Bauer A., m. fl., 2009. Analysis of methane potentials of steam-exploded wheat straw and estimation of energy yields of combined ethanol and methane production. *Journal of Biotechnology* 142, pp 50-55.

Biskupek B. 1998. Kofermentation. Kuratorium fur Technik und bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL. Arbeitspapier 249.

Brown N., Edström M., Hansson M., Algerbo P.-A. 2010. Utvärdering av gårdsbiogasanläggning med mikroturbin för kraftvärmeproduktion. JTI-rapport Kretslopp & Avfall nr 46. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Carlsson M., Schnürer A. 2011. Handbok metanpotential. SGC 237. Svenskt Gastekniskt Center

Edström M., Jansson L. –E., Lantz M., Johansson L.-G., Nordberg U., Nordberg Å. 2008. Gårdsbaserad biogasproduktion - System, ekonomi och klimatpåverkan. JTI – rapport 42, Kretslopp & Avfall. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Hjort M., Gränitz K., Adamsen A. P.S., Møller H. B. 2011. Extrusion as a pretreatment to increase biogas production. *Bioresource Technology* 102, pp 4989-4994.

Nilsson S. 2000. Gårdsbaserad biogas på Plönninge naturbruksgymnasium. JTI-rapport, Kretslopp & Avfall nr 21. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Nordberg, Å. och Edström, M. 1997. Optimering av biogasprocess för lanbruksrelaterade biomassor. JTI-rapport, Kretslopp & Avfall nr 11. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Sharma S.K. m. fl. 1988. Effekt of particle size on biogas generation from biomass residues. *Biomass* 17. pp 251-263.

Teghammar A., Keikhosro K., Ilona S. H., Mohammad T. 2012. Enhanced biogas production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment. *Biomass & Bioenergy*, volym 36, s. 116-120. ISSN: 0961-9534

8. TENIK FÖR PUMPNING AV GÖDSEL I LEDNING

Peter Eriksson

8.1 Introduktion

I denna rapport redovisas en utvärdering av praktiskt genomförda pumpningar av svingödsel. De praktiska försök som utvärderas är pumpning av svingödsel och rötrest mellan två olika gårdar, Berg och BergUngen. Sträckan mellan gårdarna är 2,7 km. I försöken utvärderas även pumpning av rötrest till en annan närliggande gård, Säby. Sträckan mellan BergUngen och Säby är 1,5 km.

Det har funnits en arbetsgrupp bestående av lantbrukaren, Astimac, Innovatum AB, Hus-hållningssällskapet och Tecnofarm. Denna grupp har inför utvärderingen av gödselpumpningen, gått igenom vilka parametrar, som skall övervakas, hur de skall övervakas, samt hur försöken skall genomföras.

Inför försöken har det antagits att färsk svingödsel kan stå i upp till en vecka i ledning innan den börjar sedimentera så mycket, att det påverkar gödselpumpningen. Den införskaffade utrustningen är dimensionerad för att alltid kunna hålla en hastighet över 1,5 m/s på gödseln under pumpning utifrån antagandet, att svingödseln kan börja sedimentera vid en hastighet under 1 m/s. För nötgödsel antas gödseln kunna börja sedimentera vid 0,5 m/s. Vid de initiala försöken planeras att pumpa gödseln med ett turbulent flöde för att minska risken, att gödseln börjar sedimentera. Ett annat villkor vid pumpningsförsöken är att byta materialet i ledningen 3-4 gånger för att få ett stabilt flöde under pumpningen. Vid varje försök av gödselpumpning skall ett gödselprov tas för att analysera den aktuella TS-halten. Vid rötrestpumpning tas endast ett TS-prov då rötresten anses vara homogen.

De praktiska försöken skall alltid ske i turordningen att först pumpa gödsel, blåsa rent ledningen med tryckluft, pumpa rötrest och till sist blåsa rent ledningen igen med tryckluft. Skälet till att pumpningarna alltid avslutas med att pumpa rötrest, är för att minimera risken för sedimentering av gödsel, som i sin tur kan leda till att det blir stopp i pumpledningen.

8.2 Materialer og metoder

Material

Utrustningen som skall användas i de praktiska försöken är:

- Pumpledning Berg – BergUngen, längd 2700 m, diameter 180 mm.
- Pumpledning BergUngen – Säby, längd 1500 m, diameter 90 mm.
- Gödselpump. Traktordriven pump från Astimac av märket Bauer, model Magnum SX 1000, med en kapacitet på 140 kbm/tim.
- Kompressor. Traktordriven skruvkompressor från Astimac, drivs via frontkrafttaget med en kapacitet på 8 m³/min vid 8,5 bars tryck.
- Flödesmätare. För att mäta mängden gödsel som pumpas. Mätaren är av märket Siemens.

- Tempgivare. För att mäta temperaturen vid pumpen.
- Tryckgivare. Tryckgivare kommer vid pumpen och på tre ställen längs ledningen för att kunna övervaka hur pumpningen beter sig längs ledningen.



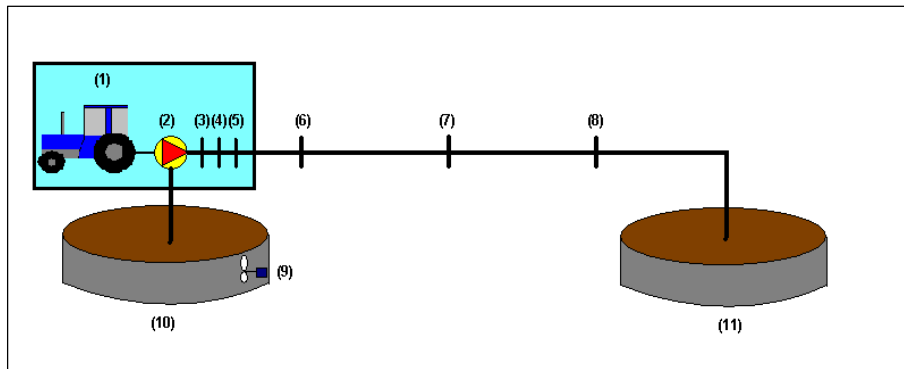
Figur 8.1 Traktordriven pump



Figur 8.2 Frontmonterad kompressor

Metod

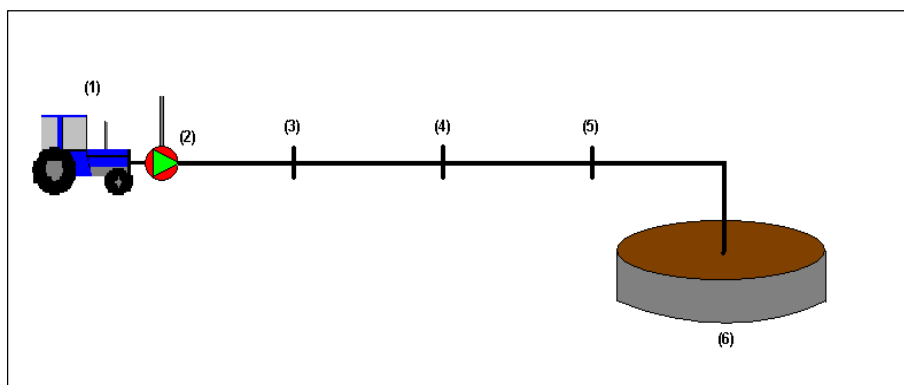
Vid pumpning av gödsel och rötrest mellan Berg och BergUngen och mellan BergUngen och Säby ser testsetupen ut enligt figur 8.3.



1	Traktor	5	Temperaturmätare	9	Omrörare
2	Gödelspump	6	Tryckmätare	10	Rötrestlager
3	Flödesmätare	7	Tryckmätare	11	Gödselbrunn
4	Tryckmätare	8	Tryckmätare		

Figur 8.3. Testsetup 1

Under blåsningen av ledningen mellan Berg och BergUngen och mellan BergUngen och Säby ser testsetupen ut enligt figur 8.4.

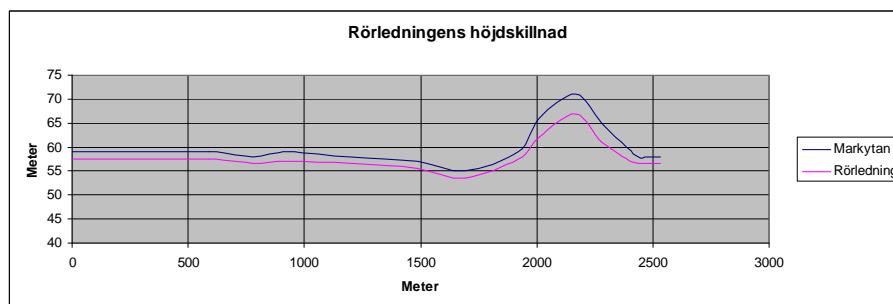


1	Traktor	3	Tryckmätare	5	Tryckmätare
2	Kompressor	4	Tryckmätare	6	Gödselbrunn

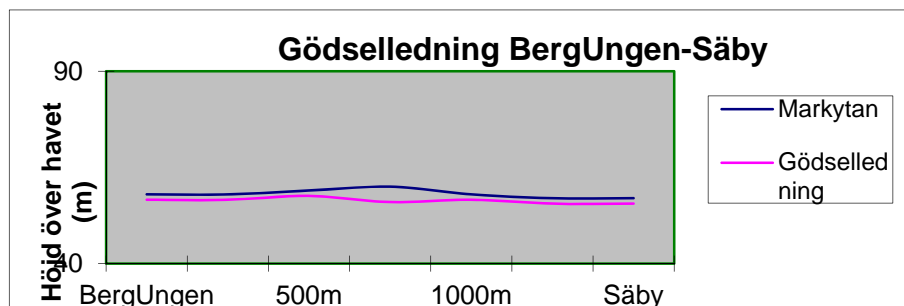
Figur 8.4. Testsetup 2

Markförutsättningar

Höjdskillnaden mellan Berg och BergUngen är 1 meter, enligt figur 8.5 och kurvan på figur 8.5, dock finns lägre punkter som vid undergången av Krokån och högre punkter genom skogen.



Figur 8.5. Rörledningens höjdskillnad Berg och BergUngen.



Figur 8.6. Rörledningens höjdskillnad BergUngen – Säby.

I nedanstående kartbild visas rördragningen mellan Berg, BergUngen och Säby.



Figur 8.7. Kartbild över rördragningen mellan Berg, BergUngen och Säby.

Provplan

1. **Testa utrustningen:** Pumpa 150-200 m³ gödsel, spola ledningen med vatten för att säkerställa att ingen gödsel är kvar i ledningen, avsluta med att spola med luft för att tömma ledningen på vätska.
2. **Pumpa gödsel:** Delas in i tre steg (dvs. när pumpning sker töms hela brunnen på Berg 500 m³)
 - Pumpa 160 m³ gödsel från Berg till BergUngen i hög hastighet. Blås igenom ledningen med tryckluft.
 - Pumpa 160 m³ gödsel från Berg till BergUngen i lägre hastighet. Blås igenom ledningen med tryckluft.
 - Pumpa 160 m³ gödsel från Berg till BergUngen i låg hastighet. Blås igenom ledningen med tryckluft.
3. **Pumpa rötrest:** Delas in i tre steg (dvs. motsvarande mängd, 500 m³, pumpas tillbaka till Berg)
 - Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Berg i hög hastighet (turbulent). Blås igenom ledningen med tryckluft.
 - Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Berg i lägre hastighet (turbulent). Blås igenom ledningen med tryckluft.

- Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Berg i låg hastighet (laminärt?). Blås igenom ledningen med tryckluft.
- 4. Rötrest stående i ledningen upp till 3 dygn:** Delas in i tre delmoment
- Pumpa in 160 m³ rötrest i ledningen och låt stå i 24 h.
 - Start pumpningen och pumpa ytterligare 160 m³ rötrest och låt stå i ledningen i 48 h.
 - Start pumpningen och pumpa ytterligare 160 m³ rötrest och låt stå i ledningen i 72 h.
- 5. Pumpa rötrest till Säby (1,5 km)**
- Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Säby i hög hastighet (turbulent). Blås igenom ledningen med tryckluft.
 - Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Säby i lägre hastighet (turbulent). Blås igenom ledningen med tryckluft.
 - Pumpa 160 m³ rötrest från BergUngen till Säby i låg hastighet (laminärt?). Blås igenom ledningen med tryckluft.
- 6. Gödsel med inblandning av ströbädd.**
- Inblandning 10 % ströbädd i flytgödseln
 - Inblandning 20 % ströbädd i flytgödseln
 - Inblandning 30 % ströbädd i flytgödseln

Varje test skall repeteras tre gånger för att statistiskt säkerställa resultaten (önskvärt vore fem repetitioner).

8.3 Referenser

Muntligt, Hans-Gösta Jönsson, Astimac

9. TENIK FÖR TRANSPORT AV BIOGAS I LEDNING

Peter Eriksson

9.1 Introduktion

Praktisk pumpning av biogas har genomförts som en del av Biogas Brålanda projektet. Innovatum har tillsammans med Tecnofarm och leverantörer tagit fram den utrustning som krävs för att pumpa gasen. De viktigaste funktionerna är att komprimera gasen upp till max 4 bar samt att kyla gasen för att få ner daggpunkten till under 2° C. Detta för att säkerställa att det inte blir någon kondensbildning i gasnätet, vilket är ett krav då inga kondensfallor finns på gasnätet.

Biogaspumpningen kommer att utföras via praktiska försök med Bergssuggpools biogasanläggning och det rågasnät som Nätaktiebolaget har lagt ner runt omkring Brålanda. Ledningsnätet består av 4,6 km stamledning mellan Lerhult och Brålanda samt en gasledning på 14 km som går öster ut till Qvantenburg och ansluter mot stamledningen strax söder om Lerhult. Denna ledning har varierande diameter från 63 mm till 160 mm. Till gasnätet är en uppgraderingsanläggning ansluten som är placerad på Lerhult bredvid Bergssuggpools biogasanläggning. Till gasnätet finns också en gaspanna ansluten på Dahlbergs slakteri i Brålanda. Initialt i biogaspumpningsförsöken kommer gasen att förbrukas i uppgraderingen och gasnätet kommer att användas som en buffert för att få tillräcklig kvantitet för att köra uppgraderingen. Senare i försöken kan flera biogasproducenter kopplas på och mata in biogas i gasnätet. Även gaspannan kommer att förbruka gas. I det skedet kommer gasnätet, att hela tiden mata gas till uppgraderingen och till gaspannan i ett konstant flöde.

Olika omständigheter har sammantaget försenat uppstarten av biogasanläggningen och även uppstarten av gasförbrukarna så som uppgradering och gaspannan. Därför har tiden för gaspumpningens utvärdering minskat.

De praktiska försöken med att pumpa biogas har även följts upp ekonomiskt. Både investeringskostnader och driftskostnader är analyserade och beräknade i en driftuppföljningsverktyg. Även olika regler och lagar som berör gaspumpningen har gått igenom och förtydligats.

9.2 Materialer og metoder

Material

Den tekniska utrustningen för att pumpa biogas har valts utifrån de lokala kraven som Biogas Brålanda AB ställt upp för att få leverera gas ut på gasnätet:

- Metanhalt ska vara minst 55 %
- Kväve- syrgashalt < 0,5 %
- Partiklar enligt SS 155438
- Olja och fett enligt SS 155438
- Svavelväte < 100ppm
- En daggpunkt som är < 2°C
- Max leveranstryck i gasledningen är 4 bar.

I valet av utrustning har konsultfirman Technofarm anlåtats för att ta fram nedanstående utrustning, som har använts i de praktiska försöken.

- Kompressor: Fabrikat Adicomp, Model BVG75-MD-INV-(GTOF)
- Chiller: Fabrikat HIROSS, Model WFS016
- Absorptionsstank, Fabrikat FORSAIR, model Gastork Typ G-8/D8
- Gaslager: Begagnad biogascistern från Gasbolaget i Dalarna
- Analysutrustning gaskvalitet: Fabrikat Fresenius, Model BioBasic
- Gasmätare, Fabrikat Itron
- Daggpunktsmätare, Importör, Model Easidew Pro IS
- Snabbavstängar, Fabrikat Itron, Model 8500
- Säkerhetsventil, Importör, Euromeknik, Model Aaftey R.V.510ARN-1/4" BSP-PN40



Figur 9.1. Daggpunktsmätare



Figur 9.2 Daggpunktsmätare

Metod

Projektet har använt följande metoder för respektive utvärderingsområde.

Projektering av utrustning

För projekteringen har Innovatum tillsammans med konsultfirman Technofarm och Elis Johanssons smide, som är leverantör av biogasanläggningen som skall producera och levera gasen ut på gasnätet, gjort en undersökning av den svenska- och europeiska marknaden avseende vilken utrustning som finns att tillgå och är lämplig för att uppfylla de ställda kraven (Rapport: Mätning av rågaskvalitet från en gårdsbaserad biogasanläggning till en rågasledning). Efter undersökningen valdes de komponenter som är angivna i kapitlet Material. Komponenterna har valts utifrån kriterierna inköpspris, service och underhåll, kalibrering, livslängd och möjlighet för support och service på den svenska marknaden.

Biogaspumpförsök

Under pumpningsförsöken har parametern daggpunkt följts upp och dokumenterats minst en gång per dygn. Denna parameter har givit svar på hur avvattningsfunktionen fungerat. Även leveranstrycket och gasflödet ut från biogasanläggningen dokumenteras en gång per dygn för att säkerställa kompressorns funktion och kapacitet. Energiförbrukningen för de olika komponenterna och behovet av absortionsmedel till absorptionstorken har följts upp för att kunna beräkna driftskostnaderna.

Regelverksutredning gällande tillståndsfrågor vid nedläggning av ledning

Genomgång av Miljöbalken samt Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE) har gjorts för att utreda vilka tillstånd som gäller vid nedläggning av gasledningar.

Avtal

Utifrån de avtal som finns framtagna i Biogas Brålanda har projektet utvärderat hur de angivna kraven är relevanta och om den inköpta utrustningen uppfyller de levererade kraven.

Kostnader

Kostnader för inköp, energiförbrukning, service och underhåll och förbrukningsmaterial dokumenteras under försökstiden och kommer beräknats och utvärderas i den mall för biogaskalkyler som Innovatum har utarbetat i projektet Biogas Brålanda.

9.3 Resultater

Regelverksutredning gällande tillståndsfrågor vid nedläggning av ledning

Enligt *Miljöbalken* krävs inget tillstånd för ledningsdragning i sig. Det är vid korsning av väg, järnväg eller vattendrag som tillstånd eller anmälan krävs. Enligt *Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE)* krävs tillstånd för att bedriva en brandfarlig verksamhet, exempelvis distributionssystem för biogas. Nedan beskrivs tillståndskraven för de båda lagarna.

Tillstånd enligt Miljöbalken

Enligt *Miljöbalken* krävs inget tillstånd för ledningsdragning i sig. Det är vid korsning av väg, järnväg eller vattendrag som tillstånd eller anmälan krävs. Oavsett om ledningsdragningen innebär korsning med väg, järnväg eller vattendrag eller ej, bör Länsstyrelsens naturvårds- och vattenvårdsenhet kontaktas för ett samråd. Detta för att klargöra huruvida den planerade ledningsdragningen inverkar menligt på natur-, miljö- eller kulturvärden. Ett tidigt samråd med Länsstyrelsen kan medföra att ingripanden i form av t ex viten eller förelägganden undviks. Nedan anges vad som bör finnas med vid ett sådant samråd med Länsstyrelsen.

När ledning skall läggas måste hänsyn tas till eventuella skyddsvärda områden. Sådana områden kan t ex vara skyddade biotoper (t ex åkerholmar, öppna diken och stenmurar), vattendrag, strandskydd, fornlämningar. Genom att studera Länsstyrelsen GIS-kartor (www.lansstyrelsen.se) för den aktuella sträckningen går det att se var dessa skyddsvärda områden finns. Ledningsdragning bör undvikas genom dessa områden.

När ledningens dragning planeras bör karta med den tilltänkta dragningen inges till Länsstyrelsens naturvårds-, vattenvårds- samt kulturvårdsenheter. Det är inget krav att upprätthålla denna dialog med Länsstyrelsen, men det är absolut att rekommendera då det minimerar risken för att skyddsvärda områden påverkas eller i värsta fall förstörs. Tillsammans med kartan bifogas i så fall en skrivelse som anger att hänsyn tagits till markeringar i GIS-kartan. Dessutom skall i en sådan skrivelse beskrivas metoder för, hur det är tänkt att större respektive mindre vattendrag skall korsas. Länsstyrelsen kommer sedan med ett utlåtande över den planerade ledningsdragningen och kan även ge instruktioner för hur verksamhetsutövaren skall hantera skyddsvärda områden eller objekt som upptäckts under grävningen.

När väl arbetet kommer igång och ledningen grävs är det möjligt att grävning sker i närheten av t ex tidigare upptäckta fornlämningar. Skulle så ske skall Länsstyrelsen kontaktas som då är förpliktigad att utge ett beslut om vilka åtgärder som skall vidtas i denna situation.

Korsning av väg eller järnväg

Vid korsning av väg och järnväg är det Trafikverket som är den beslutande myndigheten. En ansökan skickas till Trafikverket tillsammans med en kartskiss. För ansökan om korsning med järnväg bifogas även en tvärsektionsritning samt genomförandebeskrivning. Ansökningsformulär finns på Trafikverkets hemsida www.trafikverket.se. Där finns även en checklista för tekniska krav. Handläggningstiden är ca två månader.

Efter att tillstånd beviljats skall sökanden teckna ett avtal med Trafikverket för att få tillträde till väg/ban-området. Avtalet skall upprättas innan något arbete får påbörjas. Vistelse/arbete i spår miljön får endast utföras om skydds- och säkerhetsledare är närvarande. Skydds- och säkerhetsledare beställs genom Trafikverket. Trafikverket tar ut en avgift för ledningskorsning. För trycksatta ledningar (som i detta fall) är avgiften 18 500 kr (2011). Kostnaden tas ut för att bland annat täcka omkostnader för Trafikverkets inspektion på plats. I samband med arbetets slutförande skall ifylld och av ledningsägaren undertecknad egenkontrollblankett skickas till Trafikverket.

Korsning av vattendrag

Vid korsning av vattendrag är det Länsstyrelsen och kommunen som är de beslutande myndigheterna. Länsstyrelsen prövar ärendet utifrån natur-, kultur och vattenvårdsintressen medan kommunen prövar utifrån strandskyddsintresse.

Grävning genom ett dike eller en bäck eller förläggning av ledning i ett vattenområde, är en vattenverksamhet som är anmälnings- eller tillståndspliktig, om det inte är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen, som t ex markavvattningsföretag eller fiskeintressen, skadas.

När det gäller strandskydd är det inte tillåtet att bygga inom strandskyddsområdet så att det hindrar natur- eller friluftsliv. Genom att gräva ner en ledning hindras inget av detta. Det som dock skall tas i beaktande är att strandremsan intill större vattendrag kan vara känslig för erosioner, vilket gör att nedläggning av en ledning inom detta område kan leda till större eller mindre skred ner i vattendraget. Sådana skred kan skada naturliv och även friluftsliv. Så även om själva ledningen inte hindrar eller inverkar på natur- eller friluftsliv kan nedläggningen av den samma ge upphov till erosion eller skred som hindrar

eller i värsta fall förstör vattendraget, natur- eller friluftslivet. Generellt kan sägas att det med hänsyn till vattenområdet är att föredra tryckning under vattendrag.

En ansökan om strandskyddsdispens skickas till kommunen som remitterar ärendet till Länsstyrelsen för bedömning av natur-, kultur- och vattenvårdsvärden. Ansökningsformulär finns oftast på kommunens hemsida.

Tillstånd enligt Lag om brandfarliga och explosiva varor (LBE)

Enligt *Lag om brandfarliga och explosiva varor (LBE)* krävs tillstånd för att bedriva en brandfarlig verksamhet, exempelvis distributionssystem för biogas. Kravet på tillstånd kan ersättas av andra särskilda krav vid frågan om driften av distributionssystem. Då tillstånd är ersatt med särskilda krav finns ett omfattande regelverk för egenkontroll och de tekniska krav som finns i lagstiftningen skall följas oavsett om verksamheten är tillståndspliktig eller inte. Bland annat skall en utsedd föreståndare tillse att kontroll utförs och distributören ansvarar för att kontrollen görs enligt gällande normer. Anläggningsägaren ansvarar för att kraven enligt dessa normer är uppfyllda och att kontrollen är dokumenterad. Inget hindrar att en person innehar alla funktionerna som beskrivits ovan. Det är tvärtom nästan att föredra att en person ansvarar för att alla tekniska krav uppfylls och ansvarar för fler anläggningar. En person som då kan ha hög kompetens i stället för att alla anläggningsägare skall ha medelhög kompetens.

Det är verksamhetsutövaren som ansöker om tillstånd enligt LBE för att driva en brandfarlig verksamhet. Tillstånd söks hos den kommunala nämnd som fullgör uppgifter inom plan- och byggväsendet. Efter att tillstånd erhållits kan åtgärden genomföras. Innan verksamheten sätts i drift skall en avsyning göras för att säkerställa att åtgärden blev som den var tänkt och att alla tekniska krav i lagstiftningen uppfylls. När verksamheten sedan är i drift sker en återkommande tillsyn.

När tillstånd för brandfarlig verksamhet ersätts med andra krav är det de första två leden som ändras. I dessa fall söks inget tillstånd och ingen avsyning sker innan distributionssystemet tas i drift. För att tillståndet skall ersättas med andra krav krävs att anläggningen drivs under 4 bars tryck, att det finns en föreståndare och verksamhetsutövaren ansvarar för att anläggningen är byggd, drivs och kontrolleras efter de regler som utarbetas i samråd med Sprängämnesinspektionen, t ex EGN 2009. Inget hindrar att en verksamhetsutövare eller annan aktör tar fram andra regler än EGN 2009 och följer dessa istället. Kravet är då att dessa regler lever upp till de tekniska kraven i lagstiftningen och att de utarbetas i samråd med Sprängämnesinspektionen. Det som är viktigt att tänka på är att det alltid måste vara tydligt vem som ansvarar för vilken del av distributionssystemet. Inga överlappningar eller glapp i ansvaret mellan parter får ske, som kan försvåra och otydliggöra ansvarsfördelningen.

9.4 Diskussion

Till följd av förseningarna i samband med drifttagandet av biogasanläggningen har projektet inte kunnat följa upp behovet av kalibrering och analysutrustningens noggrannhet. Förseningarna har lett till att uppföljningsperioden minskat från 6 månader till 1-2 månader.

9.5 Referencer

Rapport: Mätning av rågaskvalitet från en gårdsbaserad biogasanläggning till en rågasledning. www.agrotech.dk/biom

10. UDVIKLING AF ONLINE MÅLE- OG REGISTRERINGS-TEKNIK FOR SPREDNING AF GÖDSEL AF AFGASSET BIOMASSE

Kjell Gustafsson och Bo Stenberg

10.1 Sammandrag

Växtnäringsinnehållet i flytgödsel och rötresten varierar betydligt beroende på faktorer som omrörning, djurslag, fodertyp, utfodringsintensitet, inblandning av strö- och foderrester och vatten samt förluster genom ammoniakavgång. I denna aktivitet varierade ts-halten i analyserad nötflytgödsel mellan 1,9 och 12,0 %, i svinflytgödsel mellan 0,7 och 6,3 % och i rötrest mellan 1,2 och 6,4 %. Motsvarande variation för innehållet av ammoniumkväve var i nötflytgödsel mellan 1,5 och 3,6, i svinflytgödsel mellan 0,6 och 4,0 och i rötrest mellan 0,7 och 4,2 kg N/ha. Även innehållet av övriga växtnäringsämnen visade på stora variationer. För att kunna uppnå en mer exakt tillförsel av växtnäring genom flytgödsel och rötrest krävs således att varje gödselparti efter omrörning eller ännu bättre att varje fyllning i flytgödselspridaren analyseras på sitt växtnäringsinnehåll. Enligt studier utförda i Danmark, Tyskland och Belgien skall det vara möjligt att med NIR-teknik med god precision kunna skatta innehållet av de viktigaste växtnäringsämnena. I denna aktivitet har vi med hjälp av NIR-teknik sökt kalibrera utförda mätningar med referensanalyser utförda enligt standardmetoder på laboratorium. Vi har genom att pumpa gödseln i en testrigg sökt registrera ljusreflektionen i ett flöde som så nära som möjligt liknar flödet i en flytgödselspridare. De mätresultat som vi har uppnått är lovande även om vi ännu inte lyckats uppnå samma precision i mätresultatet som i angivna utländska referenser. Arbetet pågår med att ytterligare öka precisionen i de mätningar, som vi utfört inom aktiviteten.

10.2 Introduktion

Flytgödsel och rötresten är båda mycket viktiga gödselmedel med ett betydande innehåll av växtnäringsämnena kväve (N), fosfor (P) och kalium (K). Dessutom innehåller de multibildande ämnen och många viktiga sekundärnäringsämnena. En beräkning från 2009 visar att av den totala kvävegödslingen i svenskt lantbruket tillfördes 37 % genom stallgödsel och 1 % genom rötresten. Motsvarande för totala fosfortillförseln var hela 60 % genom stallgödsel och 1 % genom rötresten. Under senare år har rötrestgödslingen ökat och förväntas öka ytterligare.

Växtnäringsinnehållet i flytgödsel varierar dock väsentligt beroende på djurslag och utfodringsintensitet och varierande inblandning av foder, strömedel och vatten. På samma sätt varierar växtnäringsinnehållet i rötresten beroende på vilket substrat som använts vid biogasproduktionen, dess vattenhalt och eventuell vatteninblandning. För båda kan dessutom ammoniakförluster under lagringen och varierande omrörning innan provtagning och spridning påtagligt påverka växtnäringsinnehållet. I dagsläget används i Sverige ofta tabellvärden sammanställda av Jordbruksverket som anger medelvärdet av växtnäringsämnena i olika stallgödseltyper. Många gårdar skickar in prov till lantbrukskemiskt laboratorium för analys av växtnäringsinnehållet i ett medelprov för gården. Några gårdar eller spridarentreprenörer har investerat i en utrustning som kan mäta innehållet av ammoniumkvävet en del av totala kväveinnehållet (Agros kvävemätare). I den utrustningen ingår också en ts-mätare (flytkropp) med vars hjälp man kan skatta gödselns fosforhalt. Det är dock mycket svårt att ta ut representativa prov och det analyseras normalt inte ut så många prover. Det finns också en risk att gödseln skiktar sig på väg ut till fältet så att

den uppmätta koncentrationen i brunnen inte stämmer med koncentrationen vid spridningen. Det skulle då innebära att koncentrationen varierar under spridningens gång vid en och samma spridning.

Inom varje skifte där flytgödsel eller rötrest skall spridas finns ofta betydande skillnader i både kväve- och fosforleverans från marken. Gödsling med medelgiva medför då att endast en mindre del av fältet gödglas efter det verkliga behovet även om innehållet i flytgödseln eller rötresten skulle vara homogent. För att gödsla optimalt på fältens alla delar skall tillförseln anpassas efter mark och gröda. Med varierande växtnäringshalter ökar risken väsentligt att tillförseln inte motsvarar behovet på fältens olika delar.

Det finns således ett stort behov och intresse för att direkt online i samband med spridning av flytgödsel och rötrest kunna mäta dess växtnäringsinnehåll och anpassa tillförseln efter grödans och markens behov. Med ökande priser på mineralgödsel ökar också stallgödselns och rötrestens växtnäringsvärde och det blir allt mer ekonomiskt intressant att placera näringen rätt i förhållande till behovet. Till detta kommer miljömässiga aspekter där överskott av växtnäringsstillförsel ofta leder till läckage till grundvatten och omgivande vatten.

Det finns regler för hur mycket stallgödsel och andra organiska gödselmedel man får sprida. Under en femårsperiod är det i Sverige förbjudet att sprida mer stallgödsel eller andra organiska gödselmedel än vad som motsvarar ett genomsnitt av 22 kg fosfor per ha spridningsareal och år. Det finns också diskussioner kring huruvida marker med höga fosfortal ska få räknas in i spridningsareal överhuvudtaget. Det finns därmed flera starka incitament för att verkligen analysera gödseln online och placera den optimalt i förhållande till markens växtnäringsleverans och grödans behov.

I Tyskland har man applicerat NIR-mätare på några flytgödselspridare som analyserar växtnäringsinnehållet online vid spridningen. Det är sannolikt den första tekniken på marknaden för online-mätning av växtnäringsinnehåll. Tekniken kallas VAN-Control och marknadsförs av företaget Zunhammer. Enligt företagets information kan utrustningen med bra resultat mäta kväve-, fosfor, kalium- och ts-halt. Genom att man mäter både flöde och koncentration av växtnäring kan man justera mängden gödsel efter växtnäringsinnehållet online vid körning. Denna BioM-aktivitets syfte är att testa funktionen och användbarheten av att med NIR-utrustning mäta innehållet av kväve, fosfor, kalium, ts mm kontinuerligt under spridningen av flytgödsel och rötrest. Genom att testa tekniken inom ett gemensamt projekt kan sedan lantbrukare, spridarentreprenörer och spridartillverkare i flera länder ta del av testresultaten utan att själv behöva ta den ekonomiska risken, det kan innebära att vara först att testa ny teknik i nordiska förhållanden.

10.3 Materialer og metoder

Aktivitetens syfte är att studera möjligheten att mäta innehållet av viktiga växtnäringsämnen och ts-halt online direkt i samband med spridning av flytgödsel och rötrest. För att genomföra detta krävs en robust mätteknik som kan mäta många viktiga parametrar direkt i ett gödselutflöde. Den teknik som vi valt för att mäta med, kallas NIR-teknik. Anledningen till att vi valt just denna teknik är att det tidigare gjorts studier i bl a Danmark, Tyskland och Belgien som visar, att man på laboratorienivå kan uppnå bra samband mellan mätningar med denna teknik och många viktiga mätparametrar i flytgödsel enligt nedanstående tabell.

Tabell 10.1. Korrelationskoefficient (r^2) för NIR-mätning i flytgödsel

Land (Referens)	TS	N	NH ₄ -N	P	K	C
Danmark (3)	0,97	0,94	0,92	0,88	0,55	0,94
Tyskland (4)	0,99	0,98	0,99	0,99	0,95	
Belgien (2)	0,91	0,86	0,76	0,75		

Tekniken bygger på att det material, som skall analyseras belyses med ett ljus inom det nära infraröda området och att mängden reflekterat ljus inom olika våglängder registreras och utvärderas. Ett spektrum erhålls till följd av att olika våglängder absorberas i olika hög grad av de i gödseln ingående beståndsdelarna. Främst är det kemiska bindningar mellan väte och syre, kol respektive kväve som absorberar, d.v.s vatten och organiska substanser. På SLU i Skara finns mycket god kompetens att analysera det reflekterade ljuset inom olika våglängsområden och att studera samband mellan reflektionsmönster och referensanalyser.

Det instrument vi valt att använda, AgriSpec från Tec 5, är utrustat med en Carl Zeiss PGS-NIR1.7 detektor som mäter reflekterat ljus inom området 960-1690 nm med en upplösning på <5 nm och ett intervall på 1,5 nm. Instrumentet är utrustat med en fiber-optik kopplad till ett mät huvud som kan placeras på t.ex. en ledning i spridarutrustningen (figur 10.1).

För att mäta i en miljö som så långt möjligt liknar den miljö, där mätenheten kommer att vara placerad på en flytgödselspridare, konstruerades en speciell testrigg i aktivitetens startskede. Kravet på testriggen var, att det skulle vara möjligt att förse den med en NIR-utrustning, skapa ett lämpligt flöde genom ett rör och att det relativt enkelt skall gå att mäta olika prover. Nedanstående bild visar den framtagna testriggen som är konstruerad av Anders Gustavsson Naturbruksgymnasiet Sötåsen. Allt mätarbetet med denna testrigg har utförts på Sötåsen av Lennart Wiklund, Anders Assarsson, Jan Svalmark, Stig Bobeck, Sanna Martinsson och Axel Andersson.



Figur 10.1 Den testrigg som byggts inom aktiviteten och som används för analys av flytande gödsel. Pumpen på undersidan pumpar gödseln i tanken genom röret. På ovensidan av röret sitter mät huvudet med ljuskälla och fiberoptik för registrering av ljus reflekterat av gödseln genom ett safirglas. På vänstersidan sitter själva NIR-instrumentet med detektorn i en IP 65-skyddad låda.

Testrigger kan appliceras på en traktormonterad frontlastare och gödselpumpen drivs av en hydraulmotor. För varje mätning krävs ca 100 l vätska för att mätningen skall kunna göras på ett bra sätt.

I aktiviteten har mätningar av de tre gödseltyperna nötflytgödsel, svinflytgödsel och rötrestgödsel utförts. Antal prov och analysmedeltal, minimum och maximum för de viktigaste parametrarna framgår av nedanstående tabell. Det kan här påpekas att en stor arbetsinsats har krävts för att ute på gårdar och biogasanläggningar hämta gödselprover och sedan mäta dem med NIR-utrustningen i testrigger. Speciellt för rötrestproven har vi fått åka runt i hela Götaland för att få tillgång till tillräckligt många olika rötrestprover. Nöt- och svinflytgödsel har hämtats från Skaraborgsområdet inom Västra Götalands län.

Tabell 10.2 Analysresultat för använda prover av flytgödsel och rötrester.

	Enhet	Nötflyt	Svinflyt	Rötrest
Antal prov		32	27	24
TS-medel	%	7,5	2,4	3,4
TS-min	%	1,9	0,7	1,2
TS-max	%	12,0	6,3	6,4
Tot-N-medel	kg/ton	3,6	2,8	3,5
Tot-N-min	kg/ton	1,5	0,7	1,5
Tot-N-max	kg/ton	6,3	5,7	5,5
NH ₄ -N-medel	kg/ton	1,9	2,2	2,6
NH ₄ -N-min	kg/ton	1,0	0,6	0,7
NH ₄ -N-max	kg/ton	3,6	4,0	4,2
P-medel	kg/ton	0,6	0,4	0,5
P-min	kg/ton	0,2	0,1	0,0
P-max	kg/ton	1,0	1,3	1,1
K-medel	kg/ton	3,0	2,0	2,3
K-min	kg/ton	1,3	0,3	0,8
K-max	kg/ton	4,7	3,4	3,5
C/N-medel	kvot	8,5	2,7	3,5
C/N-min	kvot	4,4	1,1	1,3
C/N-max	kvot	13,8	9,1	7,8

Dessa prov har använts för att konstruera kalibreringar mellan NIR-spektrum och de olika analysparametrarna. Samtliga prov analyserades vid tre olika varvtal för att representera en variation i flöden. Detta eftersom flödet kan variera mellan olika gödselspridare. Att ha med en spridning i kalibreringen förväntas göra den robustare. Kalibreringarna validerades genom korsvalidering. D.v.s att varje prov (samtliga tre varvtal) hålls undan kalibreringen ett i taget och predikterades. Resultaten redovisas som andel variation förklarad av kalibreringen (R^2) samt genomsnittlig absolut avvikelse mellan mätt och predikterat (RMSE).



Figur 10.2. NIR-utrustningen placerad på flytgödselspridare. Den provisoriska inkapslingen är till för att skydda mätenheten från smuts och vatten.

Sedan mätningarna i testriggen har slutförts har NIR-utrustningen applicerats på den flytgödselspridare som finns på Naturbruksgymnasiet Sötåsen. Syftet med denna del i aktiviteten är att studera om det finns någon variation inom varje fyllning eller om omrörningen i spridaren gör att varje fyllning har ett homogent innehåll. Ett dussin fyllningar och spridningar mäts i denna del. Referensanalyserna för dessa 12 fyllningar visas i tabell 10.3. Variationen är som framgår av tabellen inte så stor vilket indikerar att gödseln vid dessa fyllningar var väl omblandad och homogen. Vi kan då inte räkna med att NIR-utrustningen skall kunna se några skillnader mellan dessa.

Tabell 10.3. Referensanalyser för 12 fyllningar med rötrestgödsel i flytgödselspridare.

	Enhet	Rötrest
Antal fyllningar		12
TS-medel	%	7,3
TS-min	%	7,0
TS-max	%	7,5
Tot-N-medel	kg/ton	3,1
Tot-N-min	kg/ton	3,0
Tot-N-max	kg/ton	3,2
NH ₄ -N-medel	kg/ton	1,9
NH ₄ -N-min	kg/ton	1,9
NH ₄ -N-max	kg/ton	2,0
P-medel	kg/ton	0,8
P-min	kg/ton	0,7
P-max	kg/ton	0,8
K-medel	kg/ton	3,4
K-min	kg/ton	3,3
K-max	kg/ton	3,6
C/N-medel	kvot	9,3
C/N-min	kvot	8,6
C/N-max	kvot	10,3

10.4 Resultat

De resultat som visas här består av kalibreringar för nötflyt, svinflyt och rötrest var för sig. Resultaten visas i tabellen nedan. Vi har haft ett problem med inläckage av vatten i mätenheten. Den slutade då att fungera helt. Mät huvudet sändes då till leverantören för reparation. Vid senare analys har det visat sig, att mätningar utförda efter denna reparation inte har gett riktigt samma typ av reflektansspektra som före problemet uppstod. Detta kan vara en viktig orsak till, att vi inte kunnat uppnå lika goda samband som i refererad litteratur. Vi arbetar med att förbättra reflektansspektra och samband med analysparametrar.

Tabell 10.4. Erhållna samband mellan reflektansspektrum och referensanalyser

Gödseltyp	TS		Tot-N		NH ₄ -N		P	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Rötrest	0,67	0,91	-	-	-	-	0,39	0,14
Nötflyt	0,88	0,94	0,81	0,55	0,44	0,52	0,61	0,15
Svinflyt	0,74	0,41	0,46	0,85	0,24	0,73	0,57	0,2

I aktiviteten har det också tagits fram en principbild över hur mätenheten Agrospec NIR skulle kunna kombineras med GPS och N-Sensor för att styra tillförseln av valt växtnäringssämne. Denna principbild har konstruerats av Knud Nissen, Lantmännen och Johan Mickelåker Dataväxt.

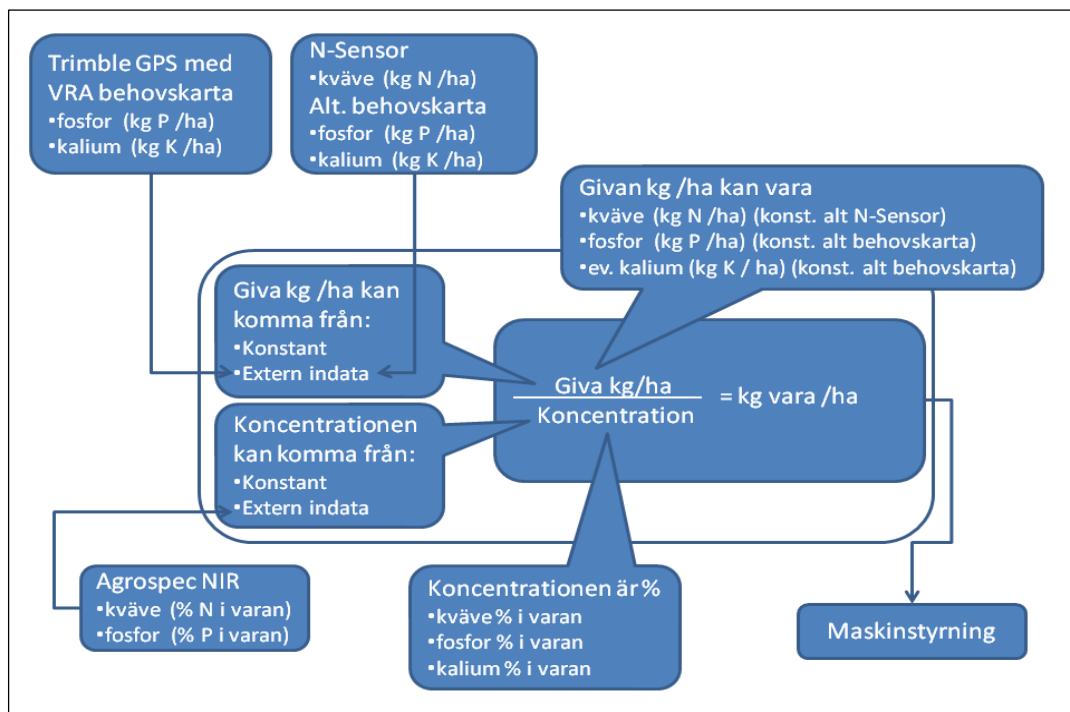


Bild 10.3. Principbild över hur tillförsel av flytgödsel eller rötrest skall kunna styras så att valt växtnäringssämne tillförs efter behov enligt markkarta eller sensormätning i växande gröda.

10.5 Diskussion

Kalibreringarna fungerar bäst för TS-halt i samtliga gödseltyper och generellt fungerar kalibreringarna bäst för nötflyt. Vatten absorberar mycket starkt i NIR-området, så att TS går relativt väl att prediktera var väntat. Samtidigt kan den höga vattenhalten, särskilt i svinflyt och rötrest ställa till problem genom att vattnets starka absorbans överskuggar andra substanser. Detta förklarar emellertid inte att kalibreringarna fungerar bättre för svinflyt än för rötrest som är ungefär lika blöt. När det gäller tot-N, ammonium-N och P kan förklaringen vara, att det i svinflyten, liksom i nötflyten, finns en relativt god korrelation mellan dessa parametrar och ts. För kväve finns ingen sådan korrelation alls i rötresten och bara en svag för fosfor. Det kan också vara så, att något annat än vattnet absorberar starkt i rötresten. Vi kan konstatera, att flera av rötresterna reflekterar mycket svagt över hela våglängdsområdet. Signalen blir därmed mycket svag och bruset högt. Mätutrustningen sattes i slutet av aktiviteten på Naturbruksskolan Sötåsens flytgödselspridare. För tolv fyllningar registrerades reflektansspektra och referensanalyser gjordes. Referensanalyserna visar på mycket måttlig variation enligt tabell 10.3. Det är en indikation på, att vid bra omrörning av en och samma gödsebehållare är variationen mellan olika fyllningar inte så stor. Däremot är variationen stor mellan provtagningar vid olika tidpunkter i olika gödsebehållare enligt tabell 10.2. Onlinemätning med den prövade tekniken är därför mest motiverad på spridarutrustning som används på många olika gårdar.

10.6 Konklusion

Aktiviteten visar, att det går att prediktera ts-halt med acceptabel noggrannhet i alla tre gödseltyperna, nötflyt, svinflyt och rötrest, mätt i ett flöde med den aktuella mätenheten och spektrofotometern. För nötflytgödsel har därtill en god prediktion av totalkväveinnehållet erhållits. Genom fortsatt utvecklingsarbete torde bättre prediktion av ts-halt och växtnäringssinnehåll i flytgödsel och rötrest kunna erhållas.

10.7 Referenser

Real-Time NIRS Analysis Technology for Biogas Plants. Produktinformation från m-u-t AG. (1)

Saeys W, Mouazen A M, Ramon H. Potential for Onsite and Online Analysis of Pig Manure using Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Biosystems Engineering (2005) 91, 393-402. (2)

Sörensen Peter, Sörensen Lambert, Birkmose Torkild. Hurtig analyse af husdyrgødning med NIRS. DJF Markbrug Nr 325, 2007. Aarhus Universitet. (3)

Zimmermann Axel, Thiessen Eiko, Andree Helga, Hartung Eberhard. Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung. Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Christian-Albrechts-Universität Kiel. (4)

Zunhammer goes future by VAN-Control. Produktblad från Zunhammer GmbH. (5)

11. OPGRADERING AF BIOGAS TILL FORDONSBRÄNSLE

Johan Emanuelsson og Johan Benjaminsson

11.1 Sammandrag

Biogas kan bidra till ett fossilbränslefritt samhälle, vilket är viktigt för att skapa förutsättningar för hållbar utveckling. Gasen behöver renas och trycksättas, det vill säga uppgraderas, för att fungera väl som drivmedel för fordon. Det är några olika ämnen, som behöver avlägsnas varav den största mängden utgörs av koldioxid. Det är inte all koldioxid, som behöver avlägsnas, men det saknas kunskap över vilken nivå som är acceptabel under praktisk drift av fordon. Lägre renhetskrav gör att fler, och billigare tekniker för rening är tillgängliga. Det är svårt att få god ekonomi i uppgradering av små gasflöden. Ekonomin i en uppgraderingsanläggning är avhängig det pris som gäller för alternativa energiformer. Kalkylen gynnas av ett högt pris på diesel, då detta bränsle kan ersättas av uppgraderad biogas. Denna studie utgår från den biogasanläggning, som finns vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen. Den producerar ca 15 normalkubikmeter per timma. I studien presenteras och bedöms olika tekniker för uppgradering. Flera spännande tekniker finns, varav några är oprövade i praktisk drift. Vidare tas en manual fram, som kan användas vid uppförande av småskaliga uppgraderingsanläggningar.

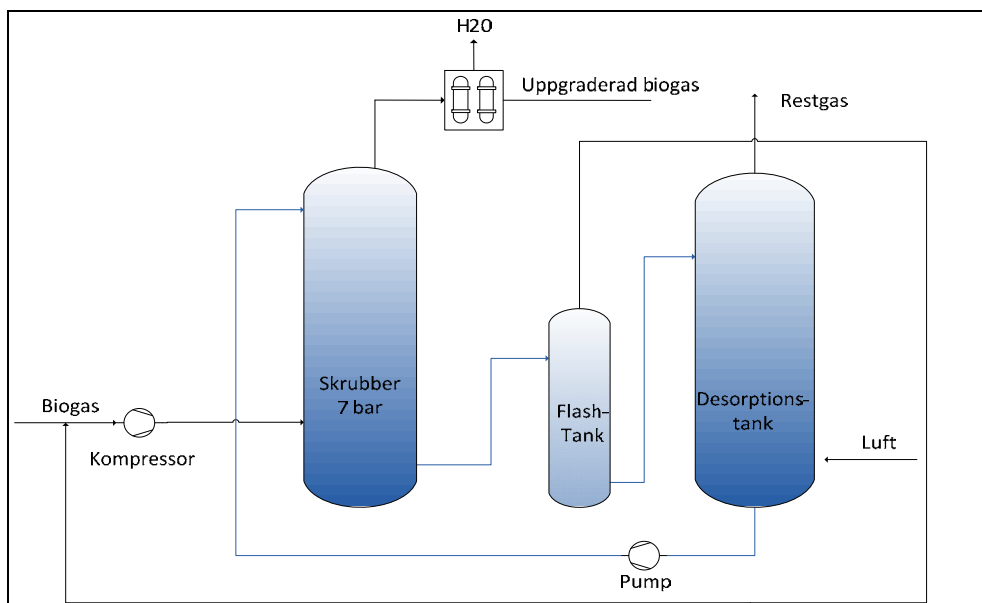
11.2 Introduktion

Biogas är ett flexibelt bränsle, eftersom det kan användas som drivmedel för fordon eller till att producera värme och el. Det är som drivmedel för fordon, som biogasen kan göra störst nytta ur ett hållbarhetsperspektiv. När biogas används som drivmedel för fordon, så kan det ersätta fossila bränslen som diesel och bensen. De fossila bränslena utgör en ändlig resurs och orsakar vid användning stora miljöproblem, bland annat genom klimatpåverkan. Värme och el kan produceras relativt enkelt av biogas, men dessa energiformer kan man också få fram på många andra sätt. Flera av dessa sätt är lämpliga ur både miljö- och ekonomiperspektiv.

Det ställs ett flertal krav på ett bränsle, för att det på ett bra sätt ska kunna användas som drivmedel för fordon. Ett av kraven är, att bränslet behöver vara skonsamt mot motor och övriga komponenter. Bränslet behöver också vara tillräckligt energitätt, för att man ska kunna få med sig tillräcklig mängd i fordonet. Den biogas, rågasen, som produceras i en biogasanläggning behöver förädlas för att uppfylla dessa krav.

Den förädling som görs, för att gasen ska nå de uppställda kraven för fordonsbränsle kallas uppgradering. I uppgraderingen ingår att gasen renas från oönskade ämnen och att den trycksätts för att bli tillräckligt energität. De ämnen som framförallt behöver avlägsnas, är koldioxid (CO_2), svavelväte (H_2S) och vatten (H_2O). Det ämne i biogas som innehåller energi är metan (CH_4). Det finns flera beprövade sätt att rena gasen. Ett är att använda sig av vattenskrubber. Denna teknik visas i figur 11.1. Tekniken bygger på att koldioxid och svavelväte har stor förmåga att lösa sig i vatten medan metan har låg löslighet. Detta ger möjlighet till att skilja metanet från övriga gaser. För att öka mängden gas som kan separeras, så trycksätts den med hjälp av en kompressor och pumpas in i skrubbertanken. I flashtanken sänks trycket för att återvinna en del av det metan, som trots låg löslighet ändå finns i vattnet. I desorptionstanken släpps trycket och luft tillsätts, så att vattnet renas från koldioxid och svavelväte som släpps ut som restgas. Vattnet kan

härigenom användas i rening av rågasen igen och pumpas tillbaka in i skrubbertanken. Den från koldioxid och svavelväte rena gasen, behöver sedan torkas från vattenånga.



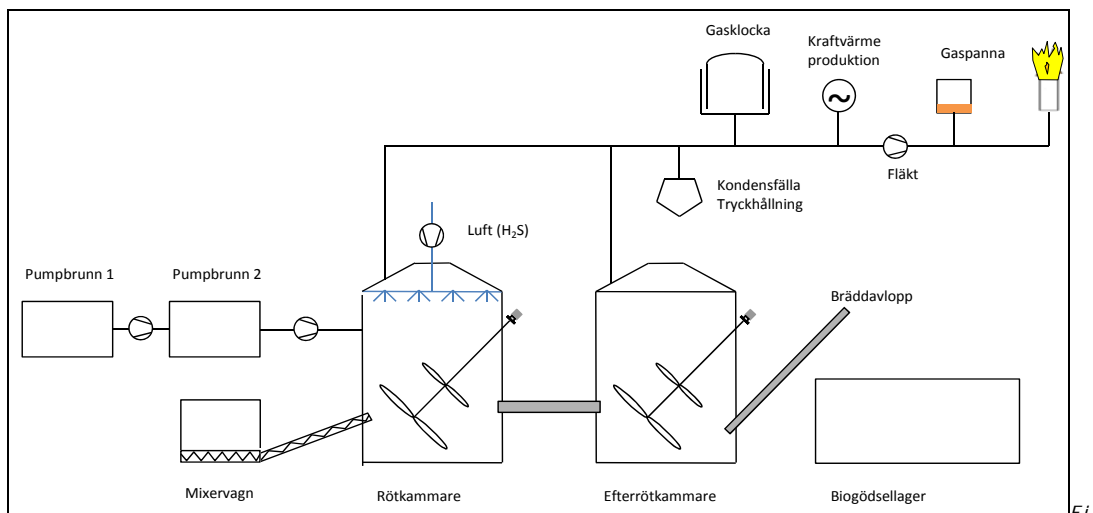
Figur 11.1 Principskiss över vattenskrubberteknik

Ett problem med uppgradering av biogas i små biogasanläggningar är, att det har varit svårt att få god ekonomisk lönsamhet. Detta beror på, att det är små volymer gas som produceras, i förhållande till de investeringar som behöver göras.

Finns det möjlighet att bygga uppgraderingsanläggningar med teknik, som är tillräckligt billig för små volymer gas? Kan det vara möjligt att lyckas, om man ställer lägre krav på gasens renhet? Dessa frågeställningar ingår i projektet för uppgradering av biogas till fordonsbränsle.

11.3 Material och metoder

Den biogasanläggning som finns på Naturbruksgymnasiet Sötåsen i Töreboda kommun är utgångspunkten i arbetet med projektet. En skiss som översiktligt visar hur biogasanläggningen är uppbyggd finns i figur 11.2.



Figur 11.2 Översiktligt flödesschema över biogasanläggningen på Sötåsen

I Sötåsens biogasanläggning utgörs substratet, som det bildas biogas av, främst av flytgödsel från mjölkobesättning. Olika försök pågår där fasta substrat tillsätts för att höja gasproduktionen. I dagsläget produceras ungefär 15 Nm³ (normalkubikmeter) biogas per timma. Gasen används för att producera el och värme.

Arbetet inom projektet har genomförts genom, att information har hämtats från tidigare genomförda projekt kring uppgradering av biogas. En viktig del har varit att diskutera med tillverkare och leverantörer av utrustning för uppgradering. Diskussioner med forskare som jobbar med biogas och uppgradering har också gett värdefull kunskap. Dessutom har vi som jobbat inom projektet diskuterat och testat idéer med varandra. Denna kreativa process har varit värdefull. Arbetet har resulterat i en rapport som beskriver tekniska lösningar för uppgradering samt ekonomiska förutsättningar för dessa. Dessutom har en manual tagits fram som ska kunna fungera som hjälp och stöd vid upphandling av uppgraderingsanläggningar.

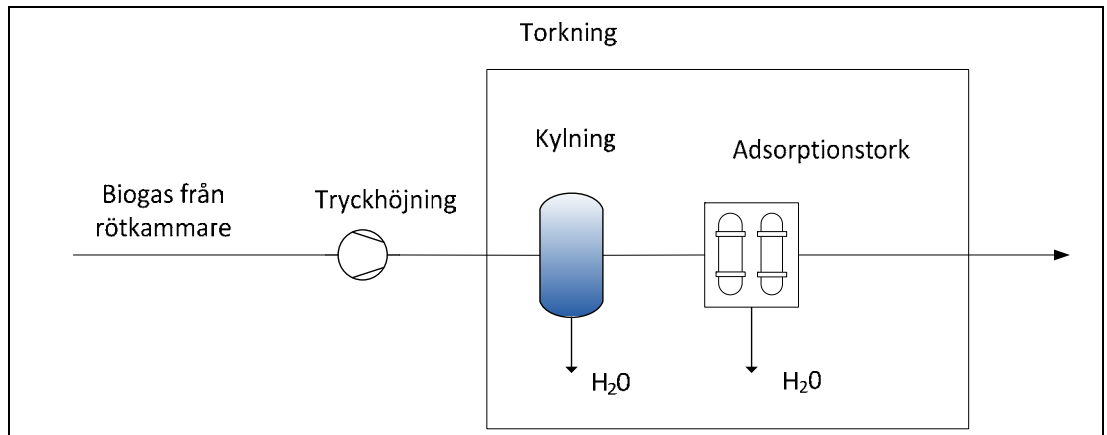
11.4 Resultat

Tabell 11.1 visar en sammanställning över olika gaser som kan användas som fordonsbränsle. Den biogas som man normalt kan köpa vid tankställen i Sverige är typ A (svensk standard). Gaserna G20 och G25 används vid test, för att kontrollera att motorer klarar gällande utsläppskrav. Att motorerna är certifierade för en gas som endast innehåller 86 % metan (G25), gör att det finns utrymme för att inte behöva rena biogasen så mycket, som man annars brukar göra (typ A).

Tabell 11.1 Gassammansättning i referensgaser, uppgraderad biogas och naturgas

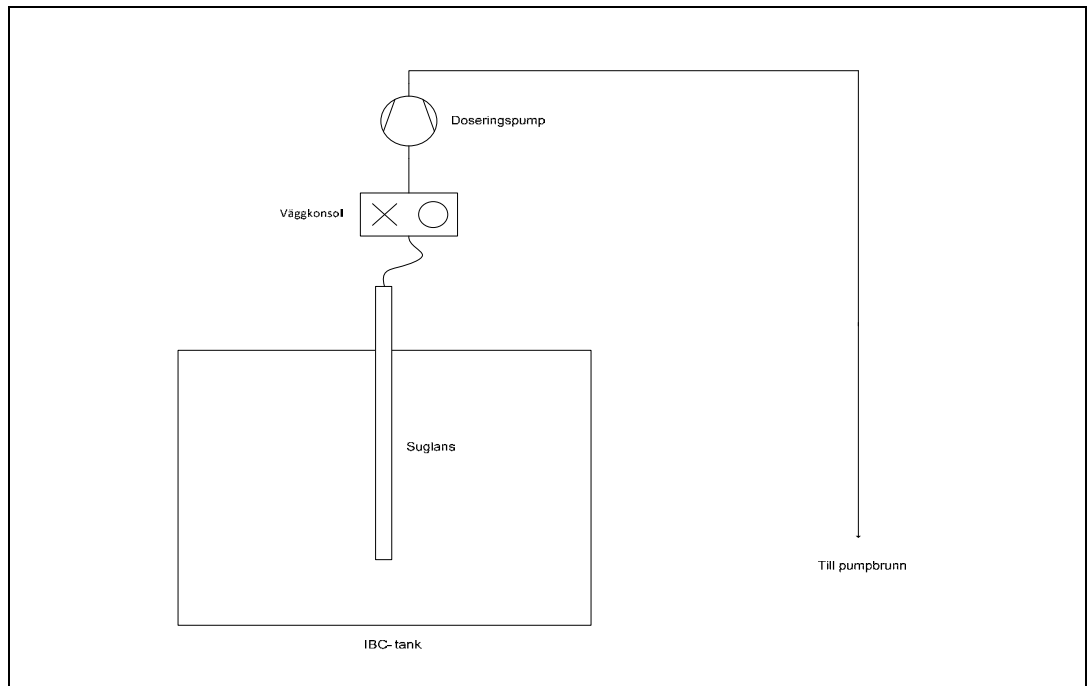
Typ	Beteckning	Enhet	G20	G25	Uppgraderad biogas, typ A	Uppgraderad biogas, typ B	Dansk naturgas	LN G
Metan	CH ₄	vol-%	100	86	96 – 98	95 – 99	90	94
Etan	C ₂ H ₆	vol-%	0	0	0	0	6	4
Propan	C ₃ H ₈	vol-%	0	0	0	0	2	1
Tyngre kolväten		vol-%	0	0	0	0	1	0,5
Kväve + Koldioxid + Syre	N ₂ + CO ₂ + O ₂	vol-%	0	14	2 - 4	1 – 5	1	0,5
Undre värmevärde	H _u	kWh/Nm ³	10	8,6	9,6 – 9,8	9,5 – 9,9	10,9	10,4

Figur 11.3 visar en skiss över hur biogasen kan torkas för att reducera risk med ansamling av vatten. Systemet bygger på att trycket först höjs och temperaturen sänks på gasen för att vatten ska fällas ut. Därefter kan biogasen torkas till en mycket låg daggpunkt i en adsorptionstork. Investeringskostnaden är ca 600.000 SEK.



Figur 11.3 Torkning av biogas med kylning och adsorptionstork

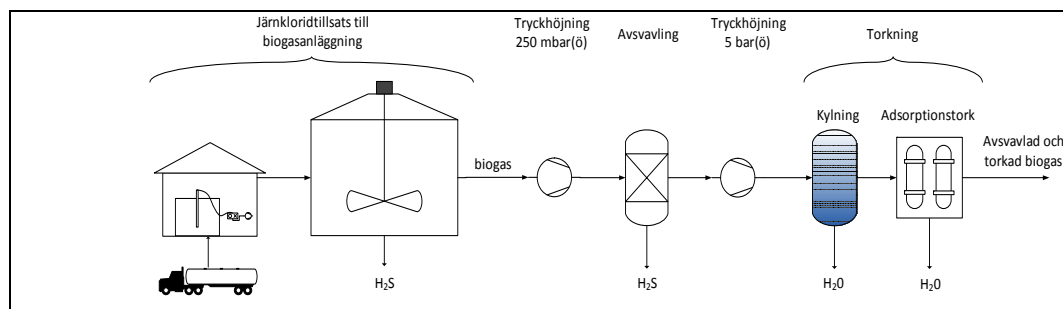
Figur 11.4 visar hur järnklorid kan tillsättas för att minska mängden svavelväte i biogasen. Investeringskostnaden är ca 20.000 SEK.



Figur 11.4 Skiss över doseringsanläggning av järnklorid

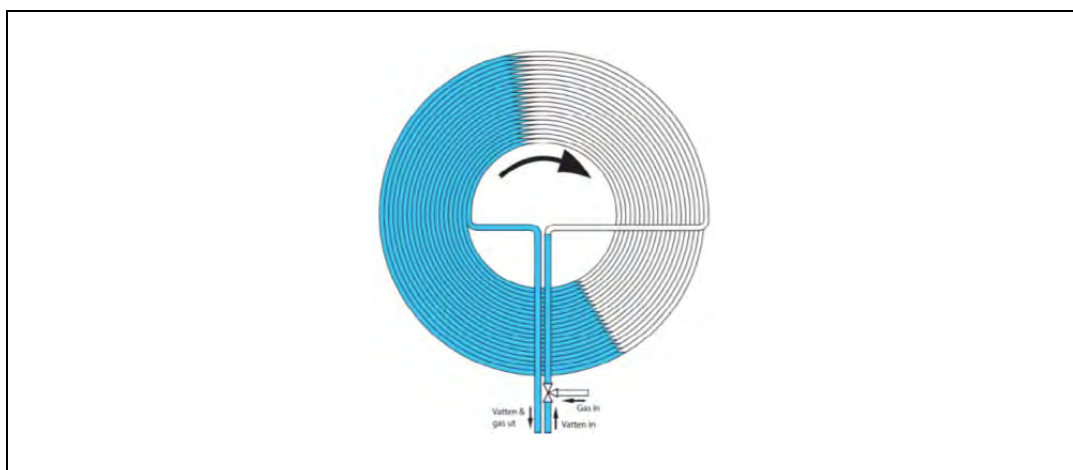
Trots tillsats av järnklorid behöver biogasen renas ytterligare från svavelväte. Detta kan göras genom ett system med aktivt kol. Investeringskostnaden för detta är på ca. 300.000 SEK.

Avsvavling och torkning av biogas kan sättas samman i ett system som visas i figur 11.5.



Figur 11.5 System för avsvavling och torkning av biogas

Gasen behöver också renas från koldioxid. Det finns möjlighet att göra detta småskaligt genom vattenskrubber. En variant är med slingpump som visas i figur 6. Denna teknik bygger på att vatten och biogas växelvis pumpas in i en lång slangvinda som roteras. I och med rotationen och tyngdkraften stiger trycket och mycket koldioxid löses i vattnet. För att nå en kvalitet på gasen som motsvarar typ A behövs det ytterligare reningssteg. Investeringskostnaden blir då ca 3,7 M SEK.

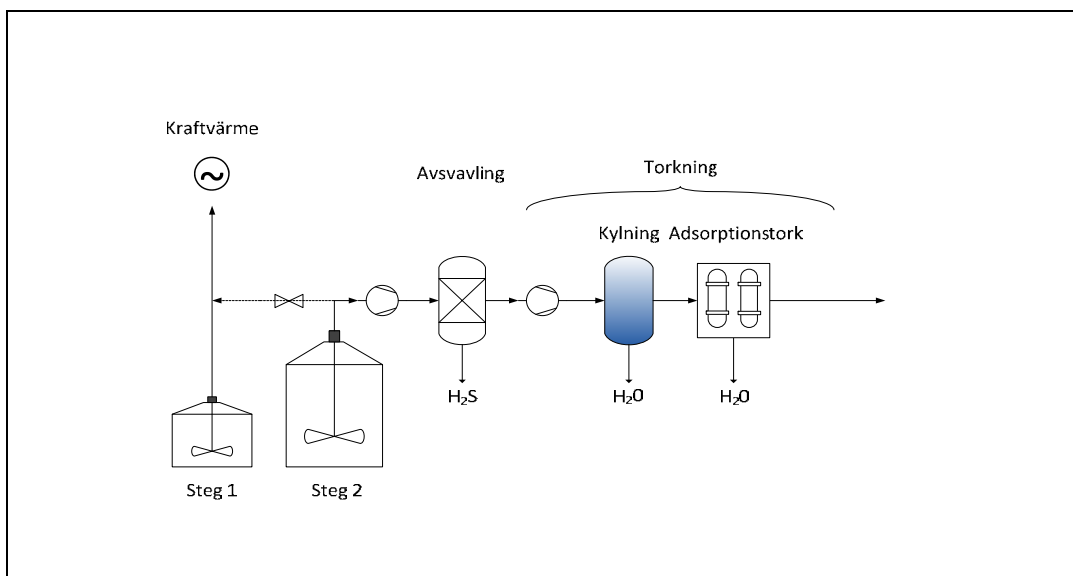


Figur 11.6 Skiss över slingpump för att lösa koldioxid i vatten

Det finns även uppgraderingstekniker med vatten (teknik enligt figur 11.1) där tankstation för fordon ingår. Företaget Metener erbjuder en anläggning som klarar biogasflöden mellan 30-100 Nm³ per timma. Denna kostar då ca 3,9 M SEK. Biorega erbjuder en liknande anläggning som klarar 10-17 Nm³ per timma och då kostar 4,3 M SEK.

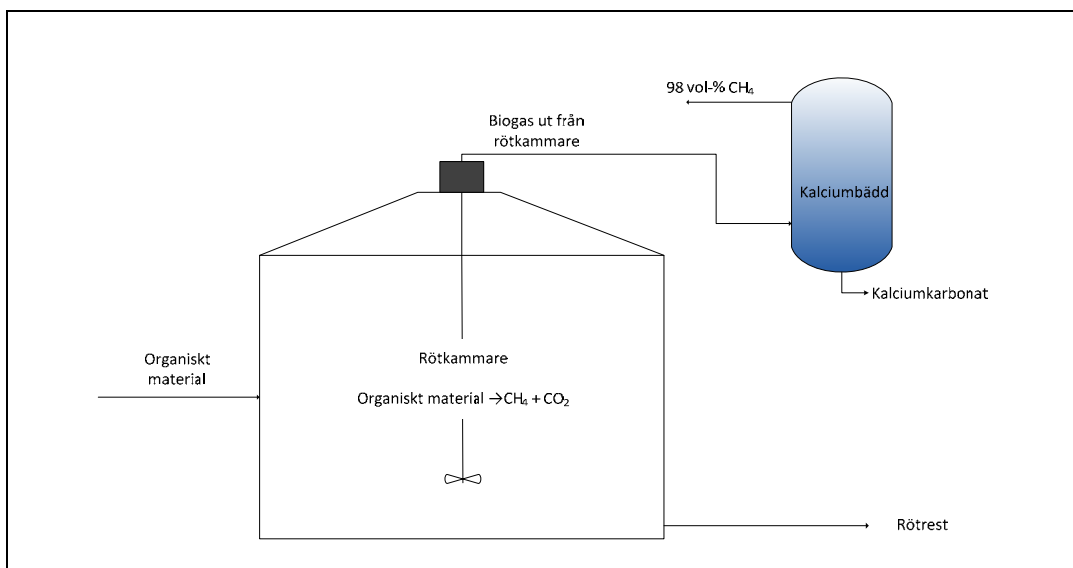
Ett annat sätt som koldioxid kan avlägsnas på, är genom membranteknik. Denna teknik bygger på, att koldioxidmolekyler lättare kan tränga igenom ett membran, än vad metan gör. Metapur och Memfoact är två företag som erbjuder uppgraderingsanläggningar med membranteknik. Investeringskostnaden är ca 4.9 M SEK.

Genom att göra anpassningar i själva biogasanläggningen, kan man få biogas som innehåller högre halt av metan än normalt. Detta bygger på, att bildandet av biogas sker i flera steg. I början bildas mest koldioxid, medan det senare framför allt bildas metan. Man kan alltså få två olika gaskvaliteter. I praktisk drift kan biogasen med högst kvalitet innehålla ca 80 % metan. Figur 11.7 visar hur en systemlösning kan se ut med kraftvärmeproduktion och avsvavling och torkning av de olika gaskvaliteterna.



Figur 11.7 Systemskiss av biogasanläggning som producerar olika gaskvaliteter med kraftvärme-
produktion samt avsvavling och torkning.

På försöksstadiet testas en teknik för rening av biogas som bygger på att biogasen leds genom en behållare med kalk uppblandat med vatten. Denna teknik visas i figur 11.8. Koldioxiden reagerar med kalken och bildar kalciumkarbonat. Biogasen renas härmed från koldioxid och man får istället kalciumkarbonat i botten av behållaren. Kalciumkarbonaten kan sedan användas genom spridning på åkermark.



Figur 11.8 Rening av biogas under utfällning av kalciumkarbonat

Den gas som bildas i dagsläget vid Sötåsens biogasanläggning används för att producera el och värme genom att gasen förbränns i en motor. Det är alltså fullt möjligt, att en motor kan köras på gas som inte är renad från koldioxid. Däremot så kan det uppstå problem, när biogas med mycket koldioxid ska trycksättas upp till 250 bar. Tankning av biogas till fordon kan ske på olika sätt. Investeringskostnaden för en station för snabbtanking är ca 3.9 M SEK. Investeringskostnaden för utrustning för långsamtanking kan vara

så låg som ca 100.000 – 400.000 SEK för kapaciteter mellan 5 – 14 Nm³/h. Tankningen kan då ta 4-8 h och exempelvis utföras nattetid.

Lagring av gas kräver stora investeringar. Lagring av 400 Nm³ fordonsgas vilket motsvarar ca 400 liter diesel medför en investering på ca 250.000 SEK.

I tabell 11.2 finns en sammanställning över kostnader för uppförande av olika uppgraderingstekniker. Den visar också skillnaden i kostnad för uppgradering av olika gasflöden.

Tabell 11.2 Investering och kostnadsbedömning för uppgraderingstekniker inklusive fyllningsutrustning.

Teknik	Investering Mkr	kr/kWh 15 Nm ³ /h	kr/kWh 30 Nm ³ /h
Tillsats av järnklorid	0,02	0,01	0,01
Torkning och avsvavling	0,9	0,2	0,1
Enkel fyllningsutrustning 13 Nm ³ /h - Fuelmaker	0,4	0,1	0,1
Uppgradering med slingpump + enkel fyllningsutrustning Summa	3,7 0,4 4,1	0,7 0,1 0,8	0,4 0,1 0,5
Vattenabsorption – Metener inklusive tankstation	3,9	0,7	0,4
Vattenabsorption – Biorega inklusive tankstation	4,3	0,8	0,4
Membranteknik – Memfoact + enkel fyllningsutrustning Summa	4,9 0,4 5,3	0,9 0,1 1,0	0,5 0,1 0,6
Processintern metananrikning + torkning och avsvavling + enkel fyllningsutrustning Summa	2,2 0,9 0,4 3,5	0,4 0,2 0,1 0,7	0,2 0,1 0,1 0,4
Tvåstegsrötning – Flinga biogas + torkning och avsvavling + enkel fyllningsutrustning Summa Torkning, avsvavling och enkel fyllningsutrustning	2,1 0,9 0,4 3,4 1,3	0,5 0,2 0,1 0,8 0,3	0,3 0,1 0,1 0,5 0,2
Kalciumbädd	i.u.	i.u.	i.u.
Konventionell vattenabsorption - Greenlane	9,3	1,5	0,8
Konventionell tankstation (enkel utformning)	3,9	0,6	0,3

11.5 Diskussion

Det är svårt att få lönsamhet i uppgradering av små gasmängder. Ekonomin i uppgraderingen beror starkt på diesel- och elpriser. Vid höga priser på diesel så blir det mer lönsamt att uppgradera biogas till drivmedel. Vid höga priser på el så blir det mer lönsamt att producera elström.

I och med att lagring av gas är kostsam, så behöver produktion och förbrukning av biogas vara relativt jämn och av samma storlek. Detta är svårt att uppnå för de flesta jordbruksföretag där förbrukningen av drivmedel varierar stort över året. Vissa fordon, exempelvis hjullastare, kan ofta ha en jämnare förbrukning.

Några tekniker för uppgradering är kommersiellt tillgängliga, medan andra är relativt oprövade eller på idéstadiet. Det finns mycket utvecklingsarbete kvar att göra. Det finns behov av att utreda var gränsen går, för hur mycket koldioxid trycksatt biogas kan innehålla vid praktisk drift av fordon.

11.6 Konklusion

Det är nödvändigt, att ersätta fossila bränslen med förnyelsebara. Biogas kan vara en möjlighet. För drift av fordon behövs det rening och trycksättning av gasen, det vill säga uppgradering. Det är möjligt att köra fordon på gas med olika kvaliteter.

Det finns olika tekniker för uppgradering, vissa väl beprövade medan andra är på utvecklingsstadiet. Det finns svårigheter ekonomiskt men också möjligheter i form av ny teknik och alternativa lösningar.

11.7 Referenser

Rapporter

Agrigas. (2004). Utveckling av teknik för att utnyttja biogaspotentialen i restprodukter med höga torrhalter. Agrigas.

Agroväst. (2012). Småskalig uppgradering och förädling av biogas. Delrapport fra BioM-projektet. www.agrotech.dk/biom

Biogas Netzeinspeisung. (den 15 07 2008). Zusammensetzung von Rohbiogas. Hämtat från biogas-netzeinspeisung.at: <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/technische-planung/funktionsprinzip-einer-biogasanlage/zusammensetzung-von-rohbiogas.html> den 28 09 2012

Biogas Syd. (2010). Biogasdrivna Dual Fuel - traktorer i lantbruk, entreprenad och kommuner. Biogas Syd.

Fraziska Müller-Langer, S. R. (2009). Ökonomische und ökologische Bewertung von Erdgassubstituten aus nachwachsenden Rohstoffen. Gülzow: DBFZ.

JTI. (2012). Rapport 46. JTi.

Lou, A. (2012). Integrated biogas upgrading and hydrogen utilization in an anaerobic reactor containing enriched hydrogenotrophic methanogenic culture. Biotech.Bioeng.

SGC. (2012). Karakterisering av föroreningar i biogas före och efter uppgradering till fordonsgas. SGC.

SGC. (2011). Biogödsel förädling-tekniker och leverantörer. SGC.

SGC. (2009). Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar. SGC.

SGC. (2009). Substrathandbok för biogasproduktion.

SGC. (2003). Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas. Lund: SGC.

Värmeforsk. (2010). SY08-808.

Intervjuer

Agartsson, P. (2011). Aquagas.

Andersson, R. (2012). AGA Gas.

Antelius, C. (2012). Kemira Kemi AB.

Berg, T. (2011). Tommy Berg Tryckluft AB.

Elnertz, M. (2012). Hoerbiger.

Hermann, J. (2012). Lesni A/S.

Hollman, L. (2012). Region Halland.

Karlsson, P. (2012). Biorega.
Lundberg, F. (2011). Flinga Biogas.
Nordberg, Å. (2011). SLU Ultuna.
Näslund, D. (2012). Malmberg Water.
Näslund, M. (2012). Dansk Gasteknisk Center.
Silversson, B. (2012). Biogastekniker.
Thunberg, M. (2012). Regol AB.
Öhlund, P. (2012). Transportstyrelsen.

12. DRIFTSØKONOMISKE KALKYLMODELLER FRA BIOGAS-PRODUKTION TILL ANVÄNDNING

Peter Eriksson

12.1 Sammendrag

Målet med att jämföra olika kalkylverktygen är att hitta deras fördelar och brister. Därmed kan de utvecklas till det bättre och på så vis ge de intressenter, som står inför beslut att investera i biogasanläggning ett ännu bättre underlag.

12.2 Introduktion

Det finns kalkylmodeller för gårdsanläggningar för biogasproduktion i Sverige, Norge och Danmark. I detta kapitel redovisas hur beräkningarna utförs. För att göra en jämförelse av de olika kalkylmodellerna utgår beräkningarna från samma grundförutsättningar

12.3 Materialer og metoder

Grundförutsättningar vid beräkningar är

- Nötflytgödsel 10 000 ton 8 % TS
- Svinflytgödsel 10 000 ton 6 % TS
- Majsensilage 500 ton 30 % TS
- Våtrötning
- Mesofil process

Användningen av biogasen kommer att vara uppdelad i tre varianter av kalkylen

- Biogas till värme
- Biogas till kraftvärme
- Biogas till uppgradering

Sverige

Det svenska kalkylverktyget består av två delar

- Gasproduktion
- Ekonomi

Gasproduktion använder värden från SGC Rapport "200 Substrathandbok för biogasproduktion" som underlag för metanproduktionen

<http://www.sgc.se/display.asp?ID=1242&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>

I ekonomidelen beräknas på kostnadssidan investeringen på storleken av röt-kammare med hjälp av en schablon plus tilläggsutrustning som är specifik för gården. Kostnader för drift och underhåll samt energiförbrukning och eventuellt kostnader för transporter av substrat. På intäktsidan är det inkomst från försäljning av gas till nät eller värme och el.

Biogasberäkning

Fordonsgas

Antal ton substrat

Typ

Gårdskalkyl

20 500

Svinggödsel

Beräkningen är ett exempel, gasproduktionen avser mängd metan i normal kubikmeter.

GASPRODUKTION

Substrat mängd (ton)	Ts-halt	CH ₄ /ton TS	CH ₄ tot	MWh tot
20 500	7,8%	213	341 080	3 332

Temp C	ton/dag	Dygn	Total volym, m ³	Belastning, kg VS/m ² dygn
37	56	30	1938	2,1

Svinflytgödsel	10 000 ton
Nötkflytgödsel	10 000 ton
Majs	500 ton



Motsvarar	
335	m ³ olja
333	st bilar
133	st villor

EKONOMI

Investering	Kostnad	Invest bidr 19%	Kvar finans.	År avskrivn.	Ränta	Kostnad/år
Rätningsanläggning	7 000 000	1 344 287	5 655 713	15	5%	527 867
Inmatning Majs	800 000	153 633	646 367	15	5%	60 328
Markanläggning	600 000	115 225	484 775	15	5%	45 246
Pumpbrunn	300 000	57 612	242 388	15	5%	22 623
Kulvert	25 000	4 801	20 199	15	5%	1 885
El och vatten	223 000	42 825	180 175	15	5%	16 816
Avvattning, tryckhöj	200 000	38 408	161 592	10	5%	20 603
Övrigt	225 000	43 209	181 791	15	5%	16 967
Summa	9 373 000	1 800 000	7 573 000			712 334

Drift, personalkostnader m.m.	Enhet	Ant	å-pris	Kostnad 1:a året	15 års genom-snitt kostnad/år
Personalkostnader	kr/st	0,2	350 000	70 000	81 208
Tillsynsavg	kr	1	17 000	17 000	19 722
Biogasanläggning	kr	1	84 000	84 000	97 450
Försäkring	kr	1	12 000	12 000	13 921
Pumpar till gödsel	kr/st	1	5 000	5 000	5 801
Transport rötrest/gödsel	kr/ton	16 000	20	320 000	371 237
Summa substrat kostnader	kr			180 000	208 821
Summa				688 000	798 160

El- och uppvärmningskostnader

Elbehov biogasanl.	kr/kWh	74 786	0,73	35 614	41 316
Värmebehov biogasanl.	kr/kWh	275 507	0,73	201 120	233 322
Summa				236 734	274 638

Totalkostnad kr/år				1 832 617	1 807 151
Totalkostnad kr/Nm³ CH₄				5,37	5,30
Totalkostnad kr/kWh				0,55	0,54

Intäkter	Enhet	Ant	å-pris	Summa	Summa
Försåld rågas	kr/kWh	3 332 351	0,50	1 666 175	1 932 956
Försåld gas	kr/kWh	-	-	0	0
Försåld rötrest/imp växtnäring	kr/ton	-	-	0	0
Värdeökning rötrest	kr/ton	12 517	-	0	0
Substrat	kr/ton	-	-	0	0
Summa				1 666 175	1 932 956

Resultat (med investeringsstöd)		-166 441	125 805
Resultat på insatt kapital %		-2%	2%

13. BIOGAS DEMONSTRATIONSANLÆG PÅ GÅRDNIVEAU TIL UDDANNELSE OG RÅDGIVNING

Helena Bredin

13.1 Sammendrag

Projektets mål har varit att bland annat få fler lantbrukare att intressera sig för biogasproduktion på sin gård. Med anledning av detta har stor vikt lagts på att profilera och marknadsföra gårdsbaserade biogasanläggningar. Ett stort moment har därför varit att kartlägga och beskriva befintliga anläggningar i syfte att öppna upp dessa för intresserade personer att besöka och lära mer av.

Det kan konstateras att det för identifierade anläggningar inte alltid har varit självklart att engagera sig i detta då man inte har sett ett direkt mervärde för den egna verksamheten/gården i att lägga tid och energi på studiebesök. En tydlig entusiasm och glöd för biogasproduktion på detta sättet kan dock urskiljas vilket har varit till stor nytta, då vi har försökt förmå anläggningarna att delta i detta projektet.

13.2 Introduktion

Syfte/mål

Det här delprojektet inom BioM har syftat till att synliggöra gårdsbaserade biogasanläggningar för rådgivning och utbildning i biologiska, tekniska och ekonomiska biogasfrågor. Delmål/aktiviteter i projektet har varit:

- Kartlägga befintliga & planerade biogasanläggningar på gårdsnivå
- Beskriva anläggningarna utifrån teknik, ekonomi samt gårdsverksamhet
- Redovisa besöksobjekten i tryckt och digital form
- Marknadsföra gårdsanläggningarna för ökat intresse
- Urval av demoanläggningar för möjlighet till rådgivning
- Utbildning av driftansvariga och representanter för besöksnäringen i värdskap
- Organisera studiebesök via besöksnäringen

Projektet har även samverkat med andra projekt som på olika sätt har syftat till att öka besöksintresset. Inledningsvis fanns en bra och tydlig nationell plan för ökat besöksintresse hos energi- och miljöteknikanläggningar via Swentec's satsning på uppvisningsobjekt för export (tyvärr har myndigheten Swentec lagts ner och dess uppgifter har fördelats på flera olika aktörer) samt projektet Energi- och miljöteknikturism vars resultat går under namnet Visit Cleantech West. Visit Cleantech West syftar till att profilera och lyfta fram energi- och miljöteknikanläggningar mer lokalt. I första hand omfattas detta projekt av Fyrbodal men även anläggningar från andra delar av västra Sverige kan vara aktuella för den hemsida som har byggts upp under Visit Cleantech West projektets gång.

BioM-projektet hade också som mål att identifiera och kartlägga danska och norska anläggningar enligt det svenska upplägget.

13.3 Materialer og metoder

Första aktiviteten var att kartlägga befintliga och i närtid planerade anläggningar med biogasproduktion i KASK-området med störst fokus på den svenska sidan. Vilka anläggningar finns samt dess storlek och ägandeform har dokumenterats tillsammans med vilken typ av anläggning/ansvänd teknik som används samt vilket substrat som används.

Följande gårds-och anläggningsinformation har samlats in i under kartläggningen:

- Anläggningsnamn & ort
- Kontaktuppgifter
- Gårdens inriktning
- Process/teknikval
- Leverantör
- Årlig produktion [MWh]
- Energiform som levereras från anläggningen
- Driftsättningsdatum
- Övrigt (ägandeform, besöksgård, nyttjande av energin, etc.)

Viktiga kriterier vid urval av demo-/besöksanläggningar har varit att få med och lyfta fram olika tekniker och processer samt att titta på den specifika anläggningens lämplighet att kunna ta emot en grupp besökare samt utföra besöket pedagogiskt. Den geografiska spridningen har värderats minst.

Varje identifierad anläggning har kontaktats i omgångar för att:

- Skapa och säkerställa ett intresse hos anläggningarna för att ta emot studiebesök i framtiden
- Stämna av och få fram ytterligare information och data om anläggningen samt bilder på anläggningen
- Förankra att anläggningen godkänner en gemensam marknadsföring och profilering.

Parallellt med informationsinsamlingen har en hemsida utarbetats, för att kunna marknadsföra och profilera gårdsbaserad biogasproduktion tillsammans med andra energi- och miljöteknikanläggningar. En standardiserad mall för anläggningsinformation har utarbetats, där även leverantörerna till de olika anläggningarna har beretts möjlighet att profilera sig vid sidan av själva anläggningen.

För att försöka öka på intresset för just gårdsbaserad biogasproduktion har olika marknadsföringsaktiviteter diskuterats. Ett event planeras i oktober 2012 där en gårdsanläggning öppnas upp för allmänhet och speciellt inbjudna företag, för att visa upp hur biogas produceras. Till detta event bjuds även bland annat bilhandlare, in för att visa upp bilar som drivs med fordonsgas. Provköring, fika och en kunskapshöjande poängpromenad står på agendan.

Under hösten 2012 tas en lättläst, mindre broschyr fram som på ett enkelt språk förklarar hur biogas och fordonsgas tillverkas, samt vilka miljöfördelar som finns med detta bränsle. Målgrupp till denna broschyr är befintliga och potentiella fordonsägare av gasdrivna fordon.

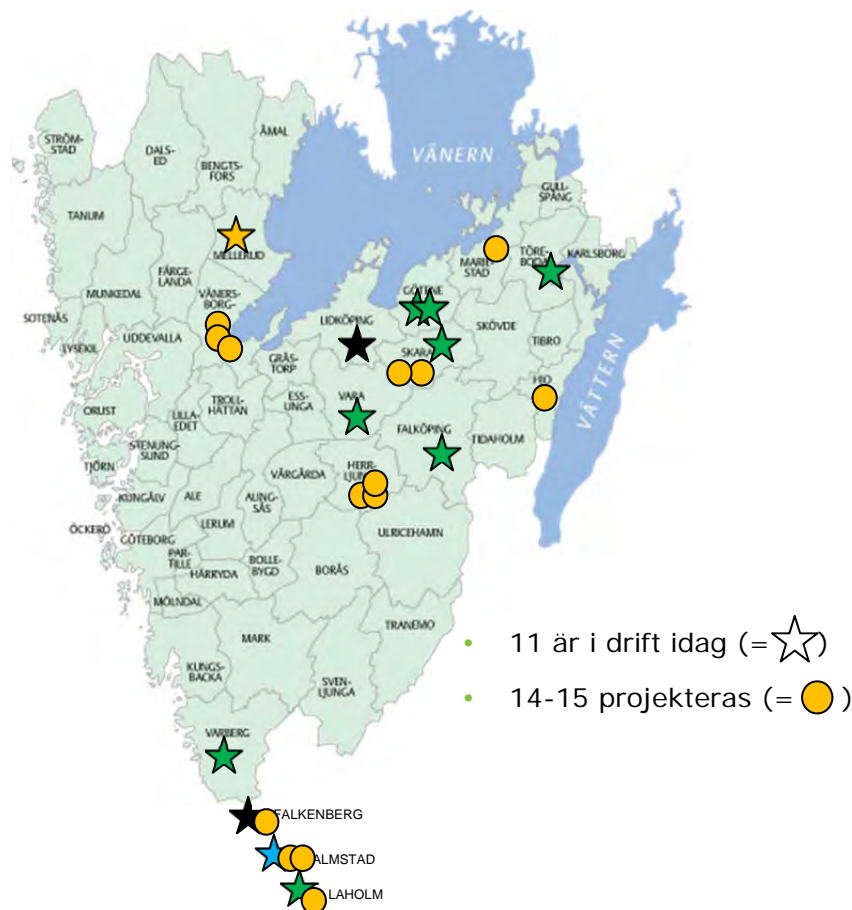
Hösten 2012 planeras även genomförande av en utbildning i värdskap för de anläggningar som öppnar upp sin anläggning för demonstration och studiebesök. Det är i första hand driftansvariga på anläggningarna, som är målgrupp för utbildningen, men även leverantörer till anläggningarna kan komma att delta om intresse finns. Det är viktigt att få en

hög kvalitet på studiebesöken, så att besökarna känner, att de är omhändertagna och på ett begripligt sätt får den information, som de förväntar sig av ett besök. Åtminstone två skäl ligger bakom detta resonemang:

- 1) Ökat intresse och kunskap om gårdsbaserad biogasproduktion kan leda till att fler intresserar sig för skaffa sig denna typ av anläggning samt att fler skaffar sig gasdrivna fordon
- 2) Projektet har utgått ifrån att anläggningarna ska få betalt för, att de tar sig tid och öppnar upp sina anläggningar för intresserade besökare. Det är därför rimligt att kräva, att studiebesöken håller en viss kvalitativ nivå, då besökarna har betalat för att få information och kunskap om biogasproduktion.

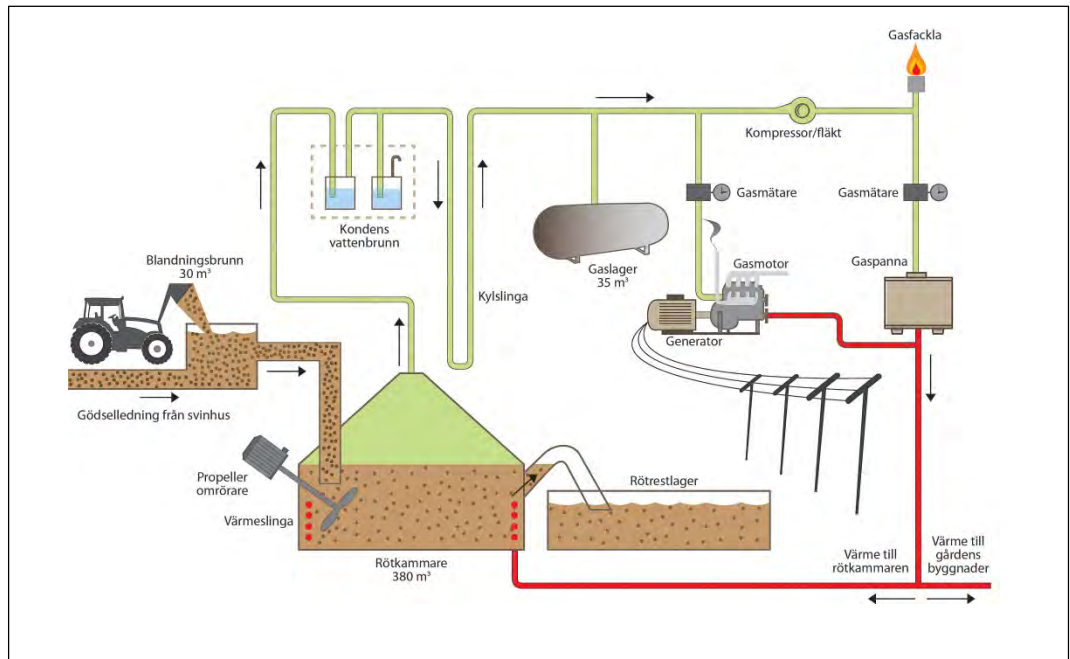
13.4 Resultater

Projektets första resultat tydliggörs i nedanstående bild. Bilden visar vilka anläggningar som finns idag i Västsverige samt vilka som är i planeringsstadiet.



Figur 13.1 Västsvenska biogasanläggningar

Av samtliga identifierade anläggningar ovan valdes endast de anläggningar ut, som har gårdsbaserad biogasproduktion. För dessa anläggningar gjordes en faktainsamling med specifik anläggningsinformation. Utöver denna information togs en processbild fram för att underlätta förklaringen av teknik och process vid studiebesöken. Nedan ett exempel på en processbild.



Figur 13.2 Processen på Högebo Gärd.

Nedan några exempel på hur den digitala presentationen för gårdsanläggningarna ser ut. Här via en ny hemsida med syfte att öka besöksintresset för energi- och miljöteknikanläggningar i allmänhet. Målet med att även marknadsföra och profilera anläggningar med gårdsbaserad biogasproduktion på denna hemsida var för att öka möjligheterna att få fler samt en ökad bredd av intresserade besökare till denna typ av energi- och miljöteknikanläggning.



Figur 13.3 Startside till www.visitcleantechwest.se:

ENERGI OCH MILJÖTEKNIK

Visit Cleantech West

Det finns en stor kunskap gällande energi- och miljöteknik i Fyrbodal och intresset för detta kunnande är stort och flera företag får idag förfrågningar om att ta emot studiebesök.

Genom denna mötesplats och gemensamma plattform kan vi på ett effektivt sätt samordna och mer affärsmässigt utveckla och utöka besöken hos Fyrbodals företag med anläggningar inom energi- och miljöteknikområdet.

Vi hjälper er att boka **studiebesök** på det/de företag som är intressant utifrån er verksamhet. Detta kan vi paketera ihop med transport, guide, boende och logi, helt utifrån de önskemål som just ni har.

På denna sajt kan ni läsa mer om de olika **besöksanläggningar** som finns i Fyrbodal, navigera er fram via vårt kartsystem, se förslag på paketering samt göra en **besöksförfrågan**.

BESÖKSANLÄGGNINGAR

HÖGEBO GÅRD AB, HÄLLEKIS
Högebo Gård AB är ett familjeägt företag som bedriver lantbruk, gasproduktion och åkeri. ...

RAGN-SELLS HELJESTORP AB
Ragn-Sells Heljestorp är en anläggning som kan ta emot och behandla alla normalt ...

LEXTORP KRAFTVÄRMEVERK
Lextorp i Trollhättan är en kraftvärmeanläggning som producerar fjärrvärme till stadens fjärrvärmenät och ...

ARVIDSTORP RENINGSVERK
På Trollhättan Energis anläggning i Arvidstorp finns ett avloppsreningsverk som framställer biogas samt ...

STUDIEBESÖK

STUDIEBESÖK

Vi bokar studiebesök åt er på de anläggningar som är intressanta utifrån er verksamhet. ...

KOMMUNIKATIONER

Resecentrum Vänersborg

Trollhättan-Vänersborgs Flygplats

Resecentrum Trollhättan

BOENDE

First Hotel Kung Oscar

Strand Hotell

Albert Kök Hotell & Konferens

BESÖKSFÖRFRÅGAN

Vi hjälper dig, att ladda ditt studiebesök med det bästa området har att erbjuda. Vi bokar besöksanläggningar, guide, boende och resan.

GÖR EN FÖRFRÅGAN!

Figur 13.4 Fortsättning på startsidan med förklaring av vad Visit Cleantech West är.

Här exempel på anläggningar med gårdsbaserad biogasproduktion upplagda på hemsidan. Exempel på andra teknikområden som visas upp är: avfallshantering och återvinning; bioenergi och biodrivmedel; vindkraft.


HEM
BESÖKSANLÄGGNINGAR
STUDIEBESÖK
KOMMUNIKATION
BOENDE
BOKNINGSFÖRFRÅGAN

BESÖKSANLÄGGNINGAR

Filterra lista Gårdsbaserad biogasproduktion


Biogas Brålanda

Genom projektet Biogas Brålanda har ett helt nytt koncept för framställning av biogas skapats: Clean Fuel Concept. Tanken med konceptet är att sammanlänka gårdsbaserade biogasanläggningar med hjälp av ett ledningsnät för biogas.




Horshaga Lantbruk, Vedum

Horshaga lantbruk är ett familjeägt företag som bedriver lantbruk och gasproduktion. Företaget är beläget i Vedum söder om Vara. Lantbruket består av spannmåls- och slaktsvinsproduktion



Högebo Gård AB, Hällekis

Högebo Gård AB är ett familjeägt företag som bedriver lantbruk, gasproduktion och åkeri. Företaget är beläget vid Kinnekulle i Götene kommun. Lantbruket består av spannmålsproduktion samt integrerad svinproduktion



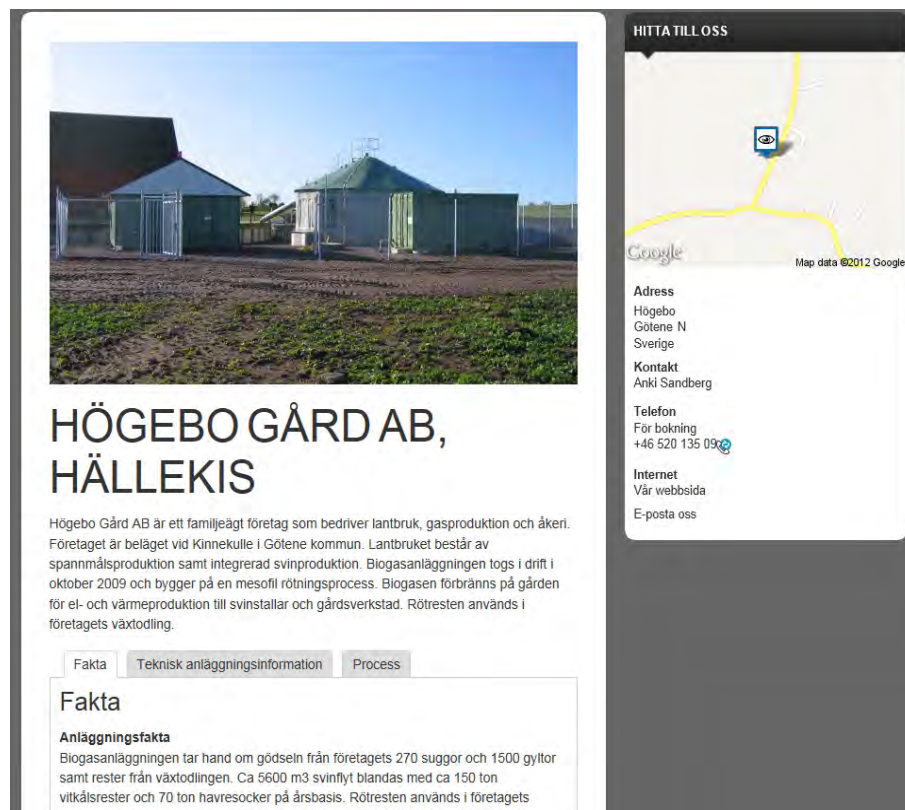
PÅ GÅNG

LANSERING AV VISIT CLEANTECH WEST

Nu lanseras den nya sajten för Visit Cleantech West. Här hittar du information om intressanta anläggningar att besöka inom Energi- och ...

Figur 13.5 Exempel på anläggningar med gårdsbaserad biogasproduktion.

Här ett exempel på en detaljsida/produktblad för en anläggning. Plats för att kunna lyfta fram och profilera en leverantör till anläggningen finns längst ned till höger i bild, under "Hitta till oss"-rutan.



**HÖGEBO GÅRD AB,
HÄLLEKIS**

Högebo Gård AB är ett familjeägt företag som bedriver lantbruk, gasproduktion och åkeri. Företaget är beläget vid Kinnekulle i Götene kommun. Lantbruket består av spannmålsproduktion samt integrerad svinproduktion. Biogasanläggningen togs i drift i oktober 2009 och bygger på en mesofil rötningsprocess. Biogasen förbränns på gården för el- och värmeproduktion till svinstallar och gårdsverkstad. Rötresten används i företagets växtodling.

Fakta Teknisk anläggningsinformation Process

Fakta

Anläggningsfakta
Biogasanläggningen tar hand om gödseln från företagets 270 sugor och 1500 gyltor samt rester från växtodlingen. Ca 5600 m³ svinflyt blandas med ca 150 ton vitkålsrester och 70 ton havresocker på årsbasis. Rötresten används i företagets

HITTA TILL OSS

Google
Map data ©2012 Google

Adress
Högebo
Götene N
Sverige

Kontakt
Anki Sandberg

Telefon
För bokning
+46 520 135 090

Internet
Vår webbsida
E-posta oss

Figur 13.6 Exempel på en detaljsida/produktblad för en anläggning

13.5 Diskussion

Projektet har stött på en rad olika problem som ibland har varit svåra att förutse och påskynda. Personer som besitter kunskap om gårdsbaserad biogasproduktion, har varit väldigt upptagna, vilket har lett till, att kartläggningsdelen drog ut väldigt på tiden. Kontakten med anläggningsägarna har i flera fall varit förknippade med misstänksamhet, kring vad det hela ska gå ut på, samt vilken nytta kan de själva dra av att medverka utöver en viss ekonomisk ersättning för besöken.



BioM projektet er støttet økonomisk af:

