Bioforsk Rapport
Bioforsk Report
Vol. 5 Nr. 16 2010

Biogass

Kunnskapsstatus og forskningsbehov

www.bioforsk.no

Hovedkontor/Head office
Frederik A. Dahls vei 20
N-1432 Ås
Tel.: (+47) 40 60 41 00
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø
Bioforsk Soil and environment Division
Frederik A. Dahls vei 20
N-1432 Ås
Tel.: (+47) 40 60 41 00
jord@bioforsk.no

Tittel/Title:

Biogass - Kunnskapsstatus og forskningsbehov

Forfatter(e)/Author(s):

Roald Sørheim, Tormod Briseid, Trond Knapp Haraldsen, Roar Linjordet (Bioforsk)
Bernd Wittgens, Øivind Hagen, Kjell D. Josefsen (SINTEF)
Svein Jarle Horn, John Morken, Jon Fredrik Hanssen, Anders Lunnan (Universitetet for miljø- og biovitenskap)
Helge Berglann og Knut Krokann (NILF)

Dato/Date:	*Tilgjengelighet/Availability:*	*Prosjekt nr./Project No.:*	*Saksnr./Archive No.:*
15.02.2010	Åpen	2110685	2009/930
Rapport nr./Report No.:	*ISBN-nr./ISBN-no:*	*Antall sider/Number of pages:*	*Antall vedlegg/Number of appendices:*
16/2010	978-82-17-00612-1	52	1

Oppdragsgiver/Employer:	*Kontaktperson/Contact person:*
Norges Forskningsråd	Trond Værnes

Stikkord/Keywords:	*Fagområde/Field of work:*
Biogass, bioenergi, forskningsbehov Biogas, bioenergy, research needs	

Sammendrag:

Rapporten beskriver kunnskapsstatus og forskningsbehov knyttet til utnyttelse av biogass i landbruket. Oppdraget er utført i samarbeid mellom Bioforsk, UMB, SINTEF og NILF

Land/Country:
Fylke/County:
Kommune/Municipality:
Sted/Lokalitet:

Godkjent / Approved

Øistein Vethe

Prosjektleder / Project leader

Roald Sørheim

Innhold

Innhold 1

Sammendrag 3

1. Innledning 9
   1.1 Biogass – og biogassprosessen, en kort innføring 9
   1.2 Status for biogassproduksjon i Norge 11
   1.3 Utredningen 13

2. Råvarer for biogass 14
   2.1 Dagens situasjon 14
   2.2 Utfordringer 16
   2.3 Forskningsbehov 17

3. Teknologi for biogassproduksjon 19
   3.1 Dagens situasjon – teknologi for biogassproduksjon 19
   3.2 Utfordringer – Biogass prosess 21
   3.3 Forskningsbehov - Biogass prosess 22

4. Biorest 23
   4.1 Dagens situasjon 23
   4.2 Utfordringer 23
   4.3 Risiko ved bruk av biorest til landbruksformål 26
   4.4 Forskningsbehov 26

5. Bruksmuligheter for biogass 27
   5.1 Dagens situasjon 28
      5.1.1 Direkte anvendelse av biogass 28
   5.2 Utfordringer 34
   5.3 Forskningsbehov 34

6. Miljøaspekter knyttet til produksjon og bruk av biogass 36
   6.1 Innledning 36
   6.2 Forskningsbehov 38

7. Sentralisert biogassanlegg som innovasjonsprosess 39

8. Rammebetingelser og virkemidler for stimulering av biogass utbygging 44
   8.1 Bakgrunn og problemstillinger 44
   8.2 Forsknings- og utredningsbehov 46

9. Nordisk samarbeid 47

10. Oppsummering forskningstema biogass 48

Referanser 50

Vedlegg: Mandat 53

Sammendrag

Biogassprosessen er en mikrobiologisk prosess hvor organisk materiale omdannes til en blanding av ikke vannløslig metan (CH_4) og karbondioksid (CO_2) i fravær av oksygen. Husdyrgjødsel og organisk avfall med et høyt vanninnhold som for eksempel matavfall, avfall fra næringsmiddelindustri, vekstrester fra landbruket og en del energivekster er godt egnet som substrat for biogass-produksjon. På sikt kan også tyngre nedbrytbart materiale med et høyt innhold av lignocellulose være aktuelt.

Ved produksjon av biogass fra husdyrgjødsel produseres fornybar energi i form av metan samtidig som man reduserer utslippene av klimagasser fra gjødselkjellere og utslippene av lystgass fra lager og gjødslete arealer. I tillegg er dette en ny aktivitet for norsk landbruk og det er stor interesse for dette blant norske bønder. Ved å sambehandle husdyrgjødsel med matavfall, fiskeensilasje og annet organisk avfall vil metanproduksjonen kunne økes kraftig og styrke økonomien til anleggene. Dette gjør biogasstiltaket også til et næringspolitisk interessant tiltak hvor man kan etablere nye samarbeidsrelasjoner mellom landbruk, næring og kommuner. I St.meld. nr. 39 "Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen" vurderes biogasstiltaket som viktig og det er satt opp et mål om en reduksjon tilsvarende 0,5 millioner tonn CO_2-ekvivalenter innen 2020, eller en behandling av om lag 30 % av den produserte husdyrgjødsla.

Biogassanlegg - dagens situasjon

I Norge har vi ca. 20 biogassanlegg som behandler avløpsslam fra renseanlegg, og ca.5 anlegg som behandler kildesortert matavfall, men det er nå relativt mange som planlegger å produsere biogass fra husdyrgjødsel og kildesortert matavfall. Foreløpig har vi mindre enn 5 fungerende gårdsbaserte biogassanlegg i Norge. Med unntak av et perkolasjonsanlegg er alle anleggene basert på vandige biogassprosesser i helomblandete reaktorer. Det planlegges foreløpig ett anlegg for behandling av matavfall og park- og hageavfall basert på en tørr biogassprosess. Vi har i dag ingen biogassanlegg som behandler energivekster fra landbruket.

I Danmark er det vanligst å sambehandle husdyrgjødsel med organisk avfall og det er om lag 60 gårdsanlegg og ca. 20 større fellesanlegg. I tillegg er det om lag 65 biogassanlegg i tilknytning til renseanlegg og 5 industrianlegg. Gassen brukes i hovedsak til el og varme.

Tyskland har over 3000 biogassanlegg og det bygges om lag 50 nye anlegg per måned. I tillegg til gjødselhåndtering, utgjør energivekster (i hovedsak mais) til biogassproduksjon et sterkt økende marked. Dette skyldes en bevisst satsing, med et effektivt støttesystem for produsert el. i 20 år fram i tid. Gassen brukes i hovedsak tilproduksjon ev el og varme.

I Sverige er det totalt ca 240 biogassanlegg, men om lag 200 av disse utgjøres av slambehandlings-anlegg og deponigassanlegg. Det er om lag 15 sambehandlingsanlegg, om lag 20 industrielle anlegg og bare noen få gårdsanlegg. Gassen brukes i hovedsak til kjøretøydrivstoff.

Utfordringene ved produksjon av biogass fra gjødsel og matavfall i Norge er knyttet til en rekke forhold i verdikjeden som økonomi, logistikk, avtaleforhold, prosessutvikling, valg og forbehandling av substrater og kvalitet og anvendelse av produsert biorest. Disse momentene er diskutert i punktene under.

Substrater – råvarer for biogass

Husdyrgjødsel og organisk avfall med et høyt vanninnhold er godt egnet som substrater for biogass-produksjon. Det viser seg at produksjonen ofte er mer robust og mer effektiv når forskjellige substrater blandes, enn når de benyttes hver for seg.

Norge har, i likhet med mange andre land, et stort potensial i gjødsel fra fjørfe. Produksjon av egg og kjøtt fra fjørfe foregår gjerne i store enheter, noe som gjør det gunstig å etablere biogassanlegg for behandling av dette avfallet. Gjødsel fra fjørfe er imidlertid kjent for å være problematisk å behandle i biogassanlegg.

Forskningsbehov:

- Behov for grunnleggende forståelse for tilpassing av substratblandingen for gassproduksjon og senere anvendelse av biorest.
- Etablere erfaring fra biogassprosesser med andre landbruksråvarer enn storfegjødsel.
- Sambehandling av husdyrgjødsel med alternative substrat for øket energiutbytte og bedret biorest.

Forbehandling av råvarer

Substrater som er tyngre tilgjengelige kan gjøres nedbrytbare gjennom forbehandlingsprosesser, for eksempel enzymatisk forbehandling, trykk- og temperaturbehandling, dampeksplosjon, mekanisk oppmaling eller nedknusing, kjemisk eller mikrobiologisk forbehandling. Valgt metode må relateres til type substrat. I Norge er det etablert sterke fagmiljøer i forskningsfronten innen enzymatisk forbehandling og dampeksplosjon.

Forskningsbehov:

- Videreutvikle forbehandlingsmetoder som gir mulighet for utnyttelse av flere ressurser, for eksempel råvarer med et høyt innhold av lignocellulose.

Biogassprosessen

Biogassprosessen er en sammensatt mikrobiologisk prosess hvor mange forskjellige typer mikroorganismer deltar, og man deler gjerne prosessen inn i flere trinn. Hvert av trinnene er dominert av forskjellige typer mikroorganismer, med ulike krav til miljø, f.eks. til pH, til en viss grad til temperatur, til toleranse for ammonium, organiske syrer og andre vekstbegrensende faktorer. Disse prosessene kan enten skilles i tid (skjer sekvensielt som i en "plug flow" reaktor), i sted (skjer i forskjellige reaktorer, for eksempel 2-trinns reaktorer) eller i mikromiljøet. Dette gjøres eksempelvis ved at mikroorganismene lever i små kuler (granuler) eller i biofilm og hvor de ytterste mikroorganismene har én funksjon, f.eks. hydrolyse, mens mikroorganismene innenfor gjærer monomerene og de innerste mikroorganismene danner metan. Kunnskap omdet mikrobielle samfunnet il kunne gi grunnlag for diagnose og stabil robust drift av biogassprosessen. Videreutvikling av prosessen gir mulighet for bedret økonomi, særlig i små biogassreaktorer tilpasset norsk landbruk.

Forskningsbehov:

- Mikrobiologisk karakterisering av den sammensatte floraen, relatert til substrattyper, prosessparametere og biogassproduksjon ved bruk av moderne mikrobiologiske metoder.
- Optimalisering av reaktordesign og teknologi; etablerte prosesser er gjerne dominert av store reaktorer med enkel teknologi. Det er rom for å utvikle en teknologi egnet for mindre og mer effektive reaktorer, gjerne biofilmreaktorer og fler-trinns reaktorer av forskjellig type.

<u>Våte biogassprosesser</u>

Våte biogassprosesser arbeider med et tørrstoffinnhold lavere enn 10 – 15 % og substratet skal være pumpbart og inneholde minst mulig av fremmedlegemer som kan sette seg fast i pumper og

røreverk. Våte prosesser er absolutt vanligst, både i Norden og ellers i verden og er godt egnet for blautgjødsel fra storfe og gris som allerede har et høyt vanninnhold i utgangspunktet. Også tørrere substrater som energivekster og matavfall behandles oftest i våte prosesser, etter tilsetning av vann. Det er gjerne økonomisk gunstig å ha så høy belastning på anlegget som mulig, men man får da høyere konsentrasjoner av en del stoffer som kan gi begrensninger. Likeledes ønsker man ofte å resirkulere vann for å minimere vannforbruket og volumet av produsert biorest. Graden av resirkulering begrenses på tilsvarende måte som ved økt belastning ved oppkonsentreringen av stoffer som etter hvert hemmer mikroorganismenes aktivitet.

Forskningsbehov:

- Mikroorganismenes toleranse for ammonium og salter samt deres toleranse for organiske syrer, spesielt fettsyrer. Forskjellige mikrobiologiske konsortier kan ha en ulik toleranse, likeledes vil blanding av forskjellige substrater, mengdeforhold, forbehandling, temperatur og oppholdstid være av betydning.
- Utvikling av prosesser med et høyt tørrstoffinnhold som gir en mer konsentrert biorest med et redusert behov for transport- og lagerkapasitet.

Små biogassanlegg – kaldt klima – spesielle utfordringer

En relativt stor andel av den produserte energien fra biogassanlegg må benyttes til å holde anleggene i gang. Mest energi går med til å opprettholde temperaturen på et riktig nivå, kanskje mellom 10 og 30 % av produsert energi, noe som svekker anleggenes økonomi.

- Utvikle anlegg som er bedre tilpasset et kaldt klima, enten ved å kunne driftes ved en lavere temperatur, eller ved å redusere varmetapet.

Gjødsel - biorest

Etter at råvarene har gjennomgått nedbrytingsprosessen som gir biogass, gjenstår en væske med varierende tørrstoffinnhold. Dette produktet benevnes biorest og inneholder hovedsakelig vann, ikke-nedbrytbart fast stoff og næringssalter som er frigjort fra råvarene. Innholdet av fast stoff vil variere blant annet med prosesstype (tørre prosesser gir høyere tørrstoff i bioresten). I våte prosesser er vanlig tørrstoffinnhold i bioresten 5-6 %, men den kan lett reduseres til 2-3 % ved å fjerne fiber fra væsken. Størstedelen av næringstoffene finnes i den flytende delen, og det er derfor denne som har størst interesse som gjødsel. Mens utnyttelse av flytende biorest som gjødsel i landbruket er hovedbruksmåten i Sverige, er det til nå beskjedne kvanta som har vært nyttet som gjødsel i Norge. Flytende biorest basert på matavfall egner seg godt som gjødsel til korn, og enkelte bønder har nyttet biorest til overgjødsling av eng med godt resultat.

Anlegg som sambehandler husdyrgjødsel og andre organiske restprodukter kan oppnå større utbytte av biogass og et sluttprodukt som er mer egnet som gjødsel enn når råstoffene behandlet hver for seg. Kombinasjonsanlegg for behandling av husdyrgjødsel og andre organiske restfraksjoner er vanlig i utlandet, bl.a. i Danmark.

Siden all utnyttelse av organisk avfall for produksjon av biogass gir en biorest med varierende egenskaper og innhold av næringsstoffer, er håndteringen og utnyttelsen av bioresten og næringsstoffene vesentlig.

En utfordring finnes når avstanden mellom biogassanlegg og avtager av biorest er stor. Det er behov for teknologiske løsninger som kan redusere transport av lite konsentrert biorest. Et biogassanlegg med redusert vannforbruk vil være av stor betydning.

- Løsninger for økt resirkulering av næringsressurser i biorest, særlig fosfor
- Utnyttelse av biorest til biomasseproduksjon for energiutnyttelse og utvikling av grønne næringer som ikke er matproduksjon

- Bruk av biorest til landbruksproduksjon; innhold av næringsstoffer, deres tilstandsform og avrenning til resipient er sentrale forskningstemaer.
- Karakterisering av biotilgjengelighet av essensielle næringsstoffer ved ulik biogass-teknologi; hvordan påvirker forbehandling av organisk materiale gjødseleffekten til bioresten
- Strategier for effektiv resirkulering av biorest til landbruksproduksjon

Energileveranse

I tillegg til metan og karbondioksid inneholder biogass vanndamp og mindre mengder med hydrogensulfid og enkelte andre komponenter. Avhengig av planlagt anvendelse må følgende komponenter fjernes: H_2S, CO_2 og H_2O da disse medfører korrosjonsproblemer i armaturer, brenner og motorer; ved oppgradering til flytende drivstoffer fører H_2S til katalysatorforgiftning. Karbondioksid bidrar ikke til brennverdi i gassen og fjernes derfor i anvendelser hvor økt brennverdi er nødvendig, for eksempel drivstoff til kjøretøy. Direkte forbrenning i gassbrenner eller motorer for kraft/varmeproduksjon krever minst rensing av gassen, vannet kan tørkes gjennom kjøling av gassen og H_2S forurensninger kan fjernes. Biogass som drivstoff eller biometan (erstatter naturgass) krever en rensing tilsvarende 97-98% CH_4, < 2% CO_2 og maksimum 0,1 ppm H_2S. Som råstoff for katalytisk konvertering til flytende drivstoff (syntese diesel) benyttes vasking med lut og bakteriologisk rensing, gjerne kombinert med et siste rensetrinn hvor aktivt kull absorberer resterende H_2S. Fjerning av CO_2 er nødvendig for å gi gassen tilstrekkelig brennverdi.

For gårdsanlegg vil direkte forbrenning til varme eller produksjon av el ved bruk av gassturbiner eller forbrenningsmotorer være mest aktuelt. Slike enkle anlegg stiller lavere krav til gass-kvaliteten. For storskalaanlegg vil det være mulig med en kombinasjon av kraft/varmeproduksjon til eget forbruk, gassrensing til biometan eller biodrivstoff (komprimert biometan) og eventuell katalytisk oppgradering. Forskningsbehov er:

- Gassrenseteknikk er stort sett teknisk tilgjenglig, for småskala anlegg er disse for kompleks og kostbart. Prosessutvikling for enklere systemer er nødvendig
- Teknologien for direkte konvertering av biogass til syntetisk diesel er ikke kommersielt tilgjenglig.

Miljøaspekter ved produksjon og bruk av biogass

Biogassproduksjon skal som nevnt gi et vesentlig bidrag til reduksjon av klimagasser fra landbruket. For å oppnå reduksjonen, må man både (1) oppnå en reduksjon av utslipp gjennom behandlingen, (2) erstatte ikke-fornybar energi med (fornybar) biogass, (3) samt å redusere bruken av mineral-gjødsel i landbruket. Programmet bør derfor bidra til å verifisere reduksjonen innen disse tre områdene.

Teoretisk vil biogassbehandling medføre reduserte utslipp av metan (lager), lystgass og ammoniakk (lager og felt). Det er mulig at bruken av biorest også vil redusere lystgassutslipp fra felt, noe som bør koples opp mot forskningsaktiviteter innen "Gjødsel – biorest".

Gjennom teknologivalg påvirkes både mengde og type energi som man må bruke for å produsere biogass, samt hvor mye av biogasspotensialet i ulike råmaterialer man greier å utnytte. Summen av disse faktorene gir netto biogassproduksjon. Biogassproduksjonen er derfor knyttet opp mot aktiviteter innen "Biogassprosessen".

Biogass er en fornybar energikilde, og hvilken energikilde den erstatter, avgjør hvilket reduksjons-potensial man kan oppnå (avoided burden). Siden miljøaspektene vil være nært knyttet opp mot aktiviteter innen teknologiutvikling "Energileveranse", bør disse aktivitetene ses i sammenheng.

Logistikkløsninger for inntransport av biomasse til biogassanlegg (fellesanlegg) og uttransport til og spredning på felt av biorest vil kunne bidra til klimautslipp, og klimaeffekter samt bruk av fossile ressurser vil derfor bli påvirket av logistikkløsningene.

For å kunne vurdere i hvilken grad biogassanlegg er godt klimatiltak, må vi også bruke data fra ovennevnte aktiviteter til utvikling av analyseverktøy som kan brukes til å vurdere hele kjeden av prosesser fra produksjon av avfall, innsamlingssystemer, behandlingsløsninger, til distribusjon av gass og biorest.

Forskningsbehov:

- Økt kunnskap og verifikasjon gjennom målinger av klimaeffekten ved behandling av husdyrgjødsel i biogassanlegg
- Utslippsreduksjoner av metan, lystgass og ammoniakk fra husdyrrom, lager og felt
- Klimagassutslipp fra anlegg og substitusjonsverdi av biogass (elektrisitet, varme eller drivstoff)
- Reduksjonspotensialet for lystgass gjennom erstatning av mineralgjødsel
- Logistikkløsninger og klimaeffekter
- Utvikling av analyseverktøy for å vurdere den totale klimaeffekten av hele kjen av prosesser produksjon av avfall, innsamlingssystemer, behandlingsløsninger, til distribusjon av gass og biorest

Logistikk og avtaleforhold – store fellesanlegg

Det er under planlegging flere store kombinasjonsbiogassanlegg i Norge som behandler både husdyrgjødsel fra mange gårdsbruk i en hel region, sammen med annet organisk avfall, for eksempel avfall fra næringsmiddelindustrien. Slike anlegg krever at store volumer av husdyrgjødsel transporteres til anleggene, gjødsla må lagres i noen tid før bruk og produsert biorest må transporteres og lagres i lang tid før bruk. Dette krever et omfattende system for transport, lagring og spredning av gjødsel. Utfordringene er knyttet til økonomi, til en viss grad til miljø (f.eks. mye transport på vei) og avtaleforhold. Hvem skal dekke de forskjellige kostnadene, hvem skal eie de forskjellige enhetene og hvordan bør avtaler utformes. Det er også faglige utfordringer knyttet til hygiene og risiko. Store biogassanlegg som behandler matavfall, og skal benytte bioresten som gjødsel står overfor mange av de samme utfordringene.

Forskningsbehov:

- Utvikle modeller/systemer som kan benyttes som planleggings- og evalueringsverktøy ved planlegging av større fellesanlegg og store anlegg for behandling av matavfall.
- FoU for å sikre at anleggene fungerer trygt med hensyn til spredning av smitte og miljøgifter.
- Skaffe kunnskap for å kjenne til effekten av ulike juridiske og økonomiske forhold ved samarbeid mellom store fellesanlegg og landbruket/enkeltbønder.

Økonomi og rammebetingelser – gårdsbaserte anlegg

Den sterke veksten i etableringen av biogassanlegg som vi ser i Europa har vært knyttet til behovet for egenprodusert energi. Dette har resultert i effektive økonomiske støtteordninger, både med hensyn til investeringsstøtte og langsiktig støtte for produsert energi. I Norge har vi hatt stor tilgang på energi, både fornybar energi i form av vannkraft, samt egen olje- og gassproduksjon. I Norge har det på denne bakgrunn ikke blitt etablert støtteordninger som har gjort det foretaksøkonomisk

lønnsomt å etablere biogassanlegg. Anlegg som behandler avløpsslam og matavfall har sin viktigste inntekt knyttet til avgifter for mottak og behandling av avløpsvann og avfall.

Produksjon av biogass fra organisk avfall og husdyrgjødsel er viktige klimatiltak. For å sikre at tiltaket tas i bruk, er det behov for å etablere ordninger og rammebetingelser som legger til rette for dette. Samtidig må vi hele tiden ha et fokus på å utvikle konkurransedyktig teknologi, noe som ligger til grunn for de andre punktene i denne rapporten. Noen virkemidler som nå vurderes er; "Økt investeringsstøtte til bygging av biogassanlegg"; "Prisgaranti ved produksjon av biogass, elektrisitet og gjødselprodukt"; "Direkte betaling for reduserte utslipp av metan og lystgass" og "Avgifter på naturgass og mineralgjødsel som vil gi biogass et konkurransefortrinn".

- Det er et FoU-behov knyttet til å evaluere hvordan ulike virkemidler og kombinasjoner av virkemidler slår ut, og eventuelt utvikle nye virkemidler med målrettet effekt. Effekten må vurderes ut fra et samfunnsøkonomisk og miljømessig perspektiv.

Internasjonalt samarbeid

Det er allerede etablert en del samarbeid mellom fagmiljøer i de nordiske land innen biogass, men dette bør utvikles videre. Norden har mange felles utfordringer på dette området, og et nordisk samarbeid anses derfor som særlig verdifullt. Viktige miljøer i Norden er Sveriges lantbruks-universitet – SLU, både i Uppsala og i Alnarp, Lunds tekniska högskole (LTH), Institutt för jordbruks- och miljöteknik (JTI) i Uppsala, Linköpings universitet (LTU), Universitetet i Århus, som blant annet omfatter biogass forsøksanlegget ved Foulum, Universitetet i Ålborg og Tekniske universitetet i København. Det må ellers presiseres at det er en rekke sterke fagmiljøer i Tyskland, Nederland og Østerrike, men også ellers i Europa, for eksempel i Italia, som det også er svært aktuelt å etablere samarbeide med.

1. Innledning

Det har i de siste årene vært en økende interesse for avfallsbehandling kombinert med produksjon av fornybar energi og gjødsel gjennom omdanning av organiske materialer i anaerobe biogass-reaktorer. Ønsket om å etablere store fellesanlegg for matavfall, næringsavfall og husdyrgjødsel og rene gårdsbaserte anlegg for husdyrgjødsel er stor.

I St.meld.nr. 34 (2006-2007) om norsk klimapolitikk (Klimameldingen), er det satt som et sentralt mål for energipolitikken å "Sikre målrettet og koordinert virkemiddelbruk for økt utbygging av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020". Dette målet er videreutviklet i Olje- og energidepartementets strategi for økt utbygging av bioenergi fra 2008. I strategien begrenses mengden energiråstoff av hensyn til matproduksjon. Det er likevel et relativt stort potensial for å utvikle bioenergiproduksjon på basis av ressurser fra landbruket. Dette omfatter først og fremst avfalls- og biprodukter fra dagens matvareproduksjon, som halm, kornavrens og matavfall. Vekster som dyrkes som ledd i en miljøtilpasset matproduksjon, for eksempel for å redusere erosjon, næringssaltutvasking eller i vekstskifte, kan også nyttes til energiformål. Anslått energiutnyttelse fra halm og kornavrens kan økes til 4,5 TWh. Videre ligger det muligheter i å utvinne biogass fra husdyrgjødsel. Årlig produseres det 15 mill tonn husdyrgjødsel i Norge som tilsvarer 2,5 TWh. Bare en ubetydelig del av gjødsla benyttes i dag som råvare i biogassproduksjon. Regjeringen har derfor satt som mål at 30 % av husdyrgjødsla skal inngå i produksjon av biogass innen 2020. Samtidig regner en med at 600 000 tonn matavfall skal inngå som råvare for biogassanlegg. Ved omdanning av disse energiressursene forventes at det kan produseres biogass tilsvarende 1,2 TWh.

Regjeringen tar i St.meld.nr. 39 (2008-2009) sikte på å vurdere ulike virkemidler for å utløse det tekniske reduksjonspotensialet for klimagassutslipp fra landbruket, ved blant annet biogass-produksjon innen 2010. Hensikten er å utarbeide en helhetlig virkemiddelpakke for utvikling av biogass, herunder gode helhetsløsninger for håndtering av organisk avfall og husdyrgjødsel, i et organisert samarbeid mellom jordbruk, industri og kommunal sektor. En slik virkemiddelpakke forventes å stimulere til økt produksjon av biogass.

1.1 Biogass – og biogassprosessen, en kort innføring

Biogass – sammensetning og egenskaper

Biogass er betegnelsen på en blanding av i hovedsak metan (CH_4, 45-70 %) og karbondioksid (CO_2, 25-45 %) som dannes når organisk materiale nedbrytes under anaerobe forhold, dvs. i fravær av molekylært oksygen (O_2). Forholdet mellom CH_4 og CO_2 avhenger i noen grad av hva slags organisk materiale som omsettes og prosessutformingen. I tillegg inneholder biogass mindre mengder vanndamp (H_2O, 0-10 %), nitrogen (N_2, 0.01-5 %), hydrogensulfid (H_2S, 0.1-0.5 %), ammoniakk (NH_3, 0.01-2.5 mg/m^3) og spor av H_2, CO og O_2. Biogass fra deponier kan, grunnet innsig av luft, ha et nitrogeninnhold på opp til 20 %.

Biogassen kan brennes direkte for oppvarming, eventuelt i kombinasjon med produksjon av elektrisk strøm i gassturbiner, eller den kan videreforedles til gassformig drivstoff, katalytisk konverteres til flytende drivstoff, eller omformes til elektrisitet i brenselceller.

Avhengig av anvendelsen kan det være nødvendig å rense gassen for H_2S og H_2O fordi disse fører til korrosjonsproblemer i armaturer, brenner og motorer. Ved oppgradering til flytende drivstoff fører spor av H_2S til katalysatorforgiftning. Karbondioksid og nitrogen er inerte, men bidrar ikke til brennverdi og fjernes derfor i anvendelser hvor økt brennverdi er nødvendig.

Biogassprosessen

Prosessen er en sammensatt mikrobiologisk prosess hvor et konsortium av mikroorganismer deltar og hvor den ene benytter det den andre skiller ut. I dette kompliserte samarbeidet deler man gjerne prosessen inn i 4 trinn:

- Hydrolysetrinnet hvor større molekyler, f.eks. proteiner, stivelse, nukleinsyrer og cellulose spaltes til monomerer som aminosyrer, nukleotider og sukkerforbindelser.
- Syretrinnet hvor monomerene gjæres til gjæringsprodukter som alkoholer og organiske syrer.
- Acetogenesetrinnet hvor acetogene bakterier danner eddiksyre (acetat)
- Metantrinnet hvor metan dannes fra eddiksyre og fra hydrogen og karbondioksid.

Hvert av trinnene er dominert av forskjellige typer mikroorganismer, med delvis forskjellige krav til miljø, f.eks. pH, til en viss grad til temperatur, til toleranse for ammonium, organiske syrer og andre vekstbegrensende faktorer. Spesielt det siste trinnet, dannelsen av metan, som utføres av såkalte metanogene organismer krever strengt anaerobe forhold.

De metanogene mikrobene som tilhører Archaea, bør ha relativt nøytral pH (pH 6,5 – 7,5), og er følsomme for høye konsentrasjoner av ammoniakk. De har høyest aktivitet ved 30 – 38 ºC (mesofile mikroorganismer) eller ved 50 – 60 ºC (termofile mikroorganismer). I naturen skjer disse prosessene vanligvis ved langt lavere temperaturer i myrer, sedimenter og i fuktig jordsmonn. Metanprosessen er viktig i magen til drøvtyggere og kan også skje ved lagring av gjødsel i gjødselkjellere. Ved utnyttelse av biogass legger vi forholdene til rette i kunstige systemer, gjerne i lukkede tanker uten tilførsel av luft. Det er utviklet svært mange ulike typer biogassprosesser, fra svært enkle små anlegg benyttet i Østen gjennom århundrer til høyteknologiske store industrianlegg.

Husdyrgjødsel og organisk avfall med et høyt vanninnhold som for eksempel avløpsslam, matavfall, avfall fra næringsmiddelindustri, vekstrester fra landbruket og en del energivekster er godt egnet som substrater for biogassproduksjon. På sikt kan også tyngre nedbrytbart materiale med et høyt innhold av lignocellulose være aktuelt. Det viser seg at produksjonen ofte er mer robust og mer effektiv når forskjellige substrater blandes, enn når de benyttes hver for seg (Schnürer et al., 2009).

Hvorfor biogass i Norge?

Biogass basert på fermentering av organisk materiale er fornybar energi og gir ikke et netto utslipp av drivhusgasser forutsatt at den produserte metanen forbrennes til $CO_2 + H_2O$. Fra lagret husdyrgjødsel vil det dannes metan og lystgass enten man ønsker det eller ikke. Det samme er tilfelle for annet deponert organisk avfall. Ved å fermentere husdyrgjødsel og annet organisk avfall til biogass i en kontrollert prosess hvor biogassen samles opp og utnyttes, oppnår man således både reduserte utslipp av drivhusgasser i forhold til dagens nivå, og en får nyttbar energi. Biogassprosessen er særlig egnet for organisk materiale med et høyt vanninnhold hvor direkte forbrenning er lite aktuelt. I tillegg til biogass gir fermenteringen en gjødsel som kan nyttes som gjødsel i landbruket.

Tar man hensyn til investerings- og driftskostnader, blir imidlertid den energien man utvinner gjennom biogassprosessen langt dyrere enn alternativer som olje og elektrisk strøm fra vannkraft. Dette gjelder spesielt for små anlegg. Samtidig gjør det høye vanninnholdet i råstoffene det lite lønnsomt både realøkonomisk og mht. miljøregnskap å transportere dem over større distanser. Store sentrale anlegg vil også ofte forutsette transport av bioresten over større distanser dersom den skal kunne utnyttes i landbruket. Bedriftsøkonomisk er således produksjon av biogass ikke lønnsomt i Norge i dag basert på verdien av energien som utvinnes. Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt, hvor man tar hensyn til reduksjonen i utslipp av drivhusgasser, er det likevel hevdet at fermentering av husdyrgjødsel til biogass er lønnsomt (St.meld. nr 39, 2008-2009). Det primære formålet med biogassanlegg i Norge vil således ofte være å redusere utslippet av drivhusgasser, mens

energiproduksjonen er en ekstra bonus. Et viktig mål for forskning på dette området vil derfor være å utvikle teknologi som gjør produksjonen av biogass og/eller videreforedlede produkter av denne mindre kostbar, men samtidig sikre at de løsninger som velges gir en optimal reduksjon i de totale utslippene av drivhusgasser. Dette er et noe annet fokus enn når målet er maksimal energi-produksjon. Det er viktig at det utvikles et sett av virkemidler som gjør at den optimale samfunnsmessige løsningen også blir bedriftsøkonomisk lønnsom for den enkelte anleggseier.

1.2 Status for biogassproduksjon i Norge

Vi har i dag i Norge om lag 23 biogassanlegg som behandler avløpsslam fra renseanlegg, og ca. 6 anlegg som behandler kildesortert matavfall (GLØR på Lillehammer, HRA på Hadeland, IATA i Nisserdal i Telemark, Ecopro i Verdal Trønderlag og renseanlegget på Kongsberg som begge sambehandler matavfall og avløpsslam og Hera Vekst på Hornmoen ved Elverum som sambehandler kildesortert matavfall og hage/parkavfall i en kombinert perkolasjons- og biogassprosess). Samlet har anleggene en behandlingskapasitet på om lag 70.000 tonn tørrstoff fordelt på 63.000 tonn avløpsslam og 7000 tonn matavfall (tabell 1).

Tabell 1 Biogassanlegg i Norge i 2008. Fra: Nedland og Ohr (2010).

Anleggs-type	Antall anlegg	Kapasitet (m^3/d)	Mottatt siste år (tonn inn)	Tonn TS/år	Biogass (mill. Sm^3/år)	Metan-innhold (%)
Slamanlegg	23	5 470	1 307 000	63 000	27,5	60
Matavfalls-anlegg	6	550	96 000	6 800	5,5	62
Totalt	29	6 020	1 403 000	69 800	33,0	60

Anlegg som behandler avløpsslam regnes for relativt enkle å drifte. De fleste ble etablert på 1990-tallet og har hatt som hovedformål å stabilisere avløpsslammet. Det planlegges en utvidelse av kapasiteten på om lag 25 % i løpet av de nærmeste årene. Gassen har blitt benyttet til el og varme som i hovedsak er benyttet til driften av anleggene. Hos FREVAR i Fredrikstad har imidlertid deler av den produserte biogassen blitt levert til Fredrikstad Biogass AS (FBAS) hvor den siden 2001 har blitt oppgradert til kjøretøydrivstoff. I 2009 har IVAR og Lyse etablert et oppgraderingsanlegg for biogass i tilknytning til Nord-Jæren Sentralrenseanlegg hvor oppgradert gass tilføres Lyses naturgassnett. Et tilsvarende oppgraderingsanlegg er nettopp satt i gang ved Bekkelaget renseanlegg i Oslo, hvor produsert biometan skal benyttes som drivstoff for busser.

Kildesortert matavfall stiller større krav til behandlingsprosessen enn avløpsslam. Forsorteringen er viktig og stiller store krav til valg av teknologi og materialer. Flere av anleggene for behandling av matavfall har en egen forbehandlingsreaktor hvor hydrolysen skjer. Alle anleggene har utfordringer knyttet til håndteringen av de store vannmengdene og avsetningen av den produserte bioresten. Mange av dem avvanner denne og resirkulerer mest mulig av prosessvannet. Ved anlegget på Lillehammer leveres nå overskuddet av prosessvann til lokale bønder som blander det inn i husdyrgjødselen som et NPK-tilskudd. Ved anlegget på Nisser arbeides det med leveranse av den produserte bioresten direkte til landbruket. Det arbeides for tilsvarende løsninger ved de andre anleggene.

Vi har i dag bare ett velfungerende og godt innarbeidet gårdsbasert biogassanlegg i Norge. Det ligger på Åna kretsfengsel i Rogaland og behandler om lag 2800 tonn husdyrgjødsel fra storfe sammen med om lag 250 tonn fiskeensilasje per år. I tillegg til dette anlegget er det noen mindre gårdsbaserte biogassanlegg under innkjøring/tidlig driftsfase.

I Danmark er det vanligst å sambehandle husdyrgjødsel med organisk avfall og benytte biogassen til produksjon av el og varme. I 2004 hadde man 57 gårdsanlegg som behandlet til sammen 750 000 m^3

biomasse. Dette tilsvarer i snitt om lag 13 000 m^3 per anlegg. I tillegg hadde man 20 større biogassanlegg som behandlet om lag 1,3 mill m^3 husdyrgjødsel og 276 000 m3 organisk avfall (Anne Seth Madsen, 2006). Det vanligste er fullt omrørte reaktortanker (CSTR – Continously Stirred Tank Reactor). I tillegg er det i Danmark 64 biogassanlegg i tilknytning til renseanlegg, 25 deponigassanlegg og 5 industrianlegg (Persson, 2006).

I Sverige er det totalt ca 240 biogassanlegg, men om lag 200 av disse er slambehandlingsanlegg (134 stk.) og deponigassanlegg (70 stk.). Det er om lag 15 sambehandlingsanlegg og om lag 20 industrielle anlegg og bare noen få gårdsanlegg (Persson, 2006). Sverige er det landet hvor det satses sterkest på produksjon av biogass til drivstoff.

Tyskland har over 3000 biogassanlegg og det bygges om lag 50 nye anlegg per måned. I tillegg til gjødselhåndtering, utgjør energivekster (i hovedsak mais) til biogassproduksjon et sterkt økende marked. Dette skyldes en bevisst satsing, med et støttesystem for produsert el i 20 år fram i tid.

Det finnes ellers mange biogassanlegg i resten av Europa, for eksempel i Nederland og Østerrike. Ellers i verden har vi eksempelvis svært mange anlegg i Kina, India og USA.

En av grunnene til at det er etablert få anlegg i Norge, er den store tilgangen vi har på fornybar energi i form av el fra vannkraft. Vannkraft har lavere pris enn det som i dag kan oppnås for biogassenergi. Ettersom Norge også er en produsent av olje og gass, har incentivene for etablering av fornybar energiproduksjon ikke vært sterke nok.

Det er imidlertid nå planlagt en rekke større biogassanlegg med en total behandlingskapasitet på ca. 530.000 tonn (tabell 2). Av disse er det 3 anlegg som planlegger å sambehandle husdyrgjødsel med annet avfall. I tillegg er det planlagt et større anlegg på Ørlandet som også skal sambehandle husdyrgjødsel med annet avfall.

Tabell 2 Planlagte store biogassanlegg i Norge i 2008. Fra: Nedland og Ohr (2010). I tillegg planlegges et større anlegg på Ørlandet.

Sted	Foretak	Avfallstyper	Kapasitet (tonn per år)	Planlagt ferdig år
Grødaland	IVAR IKS	Husdyrgjødsel, kildesortert matavfall, annet matavfall	183.000	
Tønsberg	12 K-samarbeidet og Vestfold Bondelag	Husdyrgjødsel, matavfall, annet organisk avfall, avløpsslam	137.000	2013
Sørum/Nes	Oslo kommune	Kildesortert matavfall, annet matavfall	50.000	
Bergen	Bergen kommune og BIR AS	Matavfall fra storhus-holdninger, fett fra fettfangst, avløpsslam	43.270	2013
Drammen	Lindum Ressurs og gjenvinning	Matavfall, avløpsslam	37.000	2010
Stord	SIM IKS, Stord kommune + Sunnhordland Kraftlag	Organisk avfall, avløpsslam	20.000	2011
Heimdal	Trondheim kommune	Kildesortert matavfall, annet matavfall	20.000	
Moss	MOVAR IKS	Husdyrgjødsel, kildesortert matavfall, annet matavfall	17.000	
Odda	Bioplan AS	Kildesortert matavfall, annet matavfall	12.000	2011
Vestby	Follo Ren IKS	Matavfall og hage- parkavfall	8.000	
Totalt			527.000	

I tillegg til de større anleggene som er angitt i tabell 2 er det planlagt noen mindre gårdsbaserte biogassanlegg og enkelte av dem er allerede under bygging. Vi kan nevne eksempelvis hos Audun Ekren i Verdal, på Skjetten nær Oslo, på Tomb landbruksskole, ved Mære landbruksskole i

Trøndelag, på Skjetlein landbruksskole, ved Sol- og bioenergisenteret på Tingvoll i Møre og Romsdal, ved Sortland videregående skole (Kleiva) og et anlegg i Fjærland kommune.

Totalt utgjør den planlagte kapasiteten mindre enn 2 % av den produserte husdyrgjødselen i Norge og den planlagte og den eksisterende kapasiteten for behandlet matavfall er i størrelsesorden 160.000 tonn.

Det står altså mye igjen for å oppnå behandling av 30 % av husdyrgjødsla og 600.000 tonn matavfall i biogassanlegg i Norge, slik målsetningen er i Stortingsmelding 39.

1.3 Utredningen

Bioforsk og Universitet for miljø og biovitenskap har sammen med SINTEF fått i oppgave av Norges Forskningsråd å analysere kunnskapsstatus og identifisere forskningsbehov knyttet til bruk av biogass fra landbruket. Formålet med utredningen har vært å gjennomgå, med utgangspunkt i eksisterende utredninger og ny kunnskap, muligheter og begrensninger når det gjelder utnyttelse av biogass fra landbruket til energiformål. Mandatet er vedlagt rapporten.

Økt kunnskap om råvarer, produksjon, tekniske løsninger, økonomi og samordning på ulike nivåer er en forutsetning for å lykkes med landbrukets biogassambisjoner. Det er derfor viktig å få belyst hvilke muligheter som reelt ligger i utbygging av infrastruktur for biogassproduksjon, og hvilke begrensninger og flaskehalser man må ta hensyn til. Rapporten peker på utfordringer som gir grunnlag for prioritering av forskningsinnsatsen på fagfeltet.

Rapporten som er en påbygging til Hoen et al. (2007), gir korte beskrivelser av dagens situasjon knyttet til gårdsanlegg og sentraliserte anlegg. Det er vurdert råstoff, teknologiske utfordringer og teknologifront, gjødselvarer, bruk av biogass, miljøeffekter, logistikk, økonomiske og organisatoriske utfordringer. Det er også vurdert effekter av utvidet nordisk FoU-samarbeid innen biogassområdet.

Arbeidet er gjennomført av en bredt sammensatt gruppe forskere med forskjellig bakgrunn og tilnærming. I tillegg er ulike aktører med interesse for utvikling av biogass i Norge vært orientert om og anmodet om synspunkter på hvilke forskningsbehov som kan bidra til at biogassproduksjonen fra husdyrgjødsel og matavfall når målet som regjeringen har satt.

2. Råvarer for biogass

2.1 Dagens situasjon

Råvarer for biogassanlegg er biomasse som tilføres anlegget og gir næring for ulike mikroorganismer som i samspill omdanner råvarene til blant annet metan. Substratets sammensetning virker inn på mikroorganismene og dermed prosessens effektivitet, stabilitet og forutsigbarhet. De fleste norske biogassanlegg benytter i dag avløpsslam fra renseanlegg som råvare for biogassproduksjon. Anlegg som benytter matavfall som råvare tar imot 1/10 del så mye biomasse som anlegg som benytter avløpsslam, men de produserte i 2008 ca 1/5 av mengden metan (tabell 1).

De 6 anleggene som benytter matavfall som råstoff for biogassproduksjon tok i 2008 imot 96 000 tonn matavfall (Nedland og Ohr, 2010). Dette utgjør 16 % av den matavfallsmengden som regjeringen har satt som mål å sambehandle med husdyrgjødsel innen 2020. Anlegg som behandler husdyrgjødsel finnes i liten grad i Norge. Anlegget på Åna kretsfengsel behandler 2800 tonn storfegjødsel per år og er det eneste som er i full produksjon. Denne mengden utgjør mindre enn 0,2 ‰ av årlig produksjon av husdyrgjødsel i Norge, eller 0,6 ‰ av mengden som er satt som mål innen 2020. I tillegg til anlegget på Åna, er noen mindre gårdsanlegg under etablering.

Ved siden av husdyrgjødsel besitter landbruket store mengder organiske biprodukter/vekstrester som ikke er direkte egnet som råvare for biogassprosesser. Både nasjonalt (for eksempel ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Bioforsk) og internasjonalt (se f.eks Hendriks og Zeeman, 2009) foregår målrettet forskning og utvikling på forbehandling som forventes å kunne utvide råvarespekteret for biogassprosesser. Slik forbehandling kan utføres med syre, base, mikrober, enzymer, oppbløting, termisk hydrolyse behandling, våtoksidasjon eller kombinasjoner av disse.

I utgangspunktet vil små- og mellomstore biogassanlegg i landbruket basere seg på husdyrgjødsel og andre organiske avfallsprodukter fra gårdsdriften. For å bedre den bedriftsøkonomiske lønnsomheten av kan det imidlertid også være aktuelt å ta imot organisk avfall fra andre aktører så som avfall fra næringsmiddelindustrien, død fisk fra oppdrettsanlegg, kildesortert kommunalt matavfall, rester fra gartnerier og grønnsakdyrking, etc. Dette er avfall anlegget kan bli betalt for å ta imot. I en helhetlig økologisk tenking er resirkulering av næringsstoffene i disse avfallsstrømmene viktig, men samtidig er det viktig at avfallet ikke inneholder miljøgifter og/eller høye konsentrasjoner av tungmetaller. For operatøren av et gårdsanlegg vil kunnskap om hvordan man best blander ulike råstoffer for å oppnå en stabil og god produksjon av biogass vil være viktig. Modeller, gjerne i form av dataprogrammer, hvor operatøren kan legge inn aktuelle råstoffer og deres mengder, og få et forslag til blande- og fødestrategi vil her kunne være et godt hjelpemiddel.

Forholdet mellom karbon og nitrogen i råvaren (C/N)

Substratets sammensetning med hensyn på nitrogen og karbon er viktig. Ved nedbrytning av nitrogenrikt materiale, for eksempel proteiner og nukleinsyrer, dannes ammonium som hemmer prosessen ved høye konsentrasjoner. I følge litteraturen vil hemning kunne oppstå ved konsentrasjoner i størrelsesorden 0,1 til 1,1 g per liter, men tilpasninger opp til 1,9 g N per liter er vist (Pind, 2003). Man kjenner til kulturer som tåler enda høyere konsentrasjoner.

Verdier for C/N-forholdet som anses å fungere i en biogassprosess varierer i litteraturen mellom 10 – 30 med et optimum mellom 15 og 25. Et økende C/N-forhold øker dannelsen av fettsyrer i prosessen, og dersom ikke konsentrasjonene blir for høye, kan dette stimulere metandannelsen (Schnürer og Jarvis, 2009). Tabell 3 viser C/N-forholdet i noen typiske biogass-substrater.

Tabell 3. C/N-forholdet i noen typiske biogass substrater
(Etter Schnürer og Jarvis, 2009)

Substrat	C/N-forhold
Slakteriavfall mykdeler	4
Slakteriavfall – mage/tarm	22 - 37
Matavfall	3 - 17
Blandet matavfall	15 - 32
Frukt- og grønnsaker	7 - 35
Poteter	35 - 60
Korn	16 – 40
Halm	50 – 150
Gras	12 – 26
Gjødsel/storfe	6 – 20
Hønsegjødsel	3 – 10
Svinegjødsel som gylle	5

Sambehandling

Gjødsel fra drøvtyggere er en god innsatsvare i biogassanlegg, den gir relativt sett lite biogass, men inneholder et bredt spekter av næringsstoffer og organismer som gir prosessen stabilitet. Generelt kan man si at sambehandling av forskjellige substrater gir et forbedret resultat, og man får gjerne et større biogassutbytte enn man får ved å summere resultatene fra hvert substrat. Årsakene kan være flere, for eksempel sikrer man lettere at mikroorganismene får tilgang på komponenter som de trenger i sin vekst, for eksempel sporelementer. Et mer sammensatt substrat kan gi grobunn for et mikrobiologisk samfunn med en større diversitet og således også større stabilitet. Dersom et substrat gir et galt forhold mellom C og N, kan en sambehandling med forskjellige substrater kunne rette opp dette.

Fett

Fett har et stort biogasspotensial, men det tar lengre tid å omsette fett i en biogassprosess enn de fleste karbohydrater og proteiner. Dette er årsaken til at det kan være nødvendig å fjerne overskudd av fett, for eksempel i en fettavskiller, før substratet tilføres biogassreaktoren. Dette gjøres ved enkelte meierier og kan være svært aktuelt ved behandling av større mengder fettrikt

slakteriavfall. Overskudd av fett vil kunne føre til skumdannelse og driftsproblemer, samt følge med bioresten ut og derved ikke utnyttes som energi. Dersom slakteriavfallet bare utgjør en mindre del av den totale massen som behandles, vil dette ikke være nødvendig.

Det teoretiske metanpotensialet

Den teoretiske maksimale verdien for metanpotensialet er et uttrykk for hvor redusert de organiske komponentene er, det vil si hvor mye redusert metan som dannes under omsetningen, og således hvor mye energi som vil bli tilgjengelig ved forbrenning/oksidasjon av det produserte metanet. Verdiene vil variere noe med eksempelvis fettstoffenes kjedelengde, proteinenes aminosyresammensetning og andre kjemiske variasjoner. Biogassutbytte kan således beregnes ut fra substratets kjemiske sammensetning som vist i tabell 4:

Tabell 4. Eksempler på det teoretiske metanpotensialet i ulike substrater (angitt med samleformel), samt biogassens sammensetning av metan, karbondioksid og ammoniakk. (Etter Berglund og Börjesson, 2003)

Subtrat	Formel	m^3 metan per kg VS	Vol % metan	Vol % CO_2	Vol % ammoniakk
Karbohydrat[1]	$C_6H_{12}O_6$	0,38	50	50	0
Fett[2]	$C_{50}H_{90}O_6$	1,00	70	30	0
Protein[3]	$C_{16}H_{24}O_5N_4$	0,53	41	39	20
Matavfall	$C_{18}H_{26}O_{10}N$	0,51	49	45	5
Gras	$C_{23}H_{38}O_{17}N$	0,44	48	47	4
Halm	$C_{107}H_{165}O_{70}N$	0,49	52	47	0,9
Svinegjødsel	$C_{29}H_{44}O_{13}N_2$	0,57	52	42	6,4
Gjødsel fra storfe	$C_{55}H_{79}O_{28}N$	0,56	54	45	1,8

2.2 Utfordringer

I praksis oppnås ikke like mye biogass som det teoretiske potensialet tilsier. Dette kan skyldes suboptimale prosessforløp, at råvarene består av komplekse forbindelser som ikke er lett tilgjengelig for organismene som produserer biogass eller at råvaresammensetningen ikke gir forventet biogassutbytte under det foreliggende prosessregime. For eksempel vet man at fett som råvare ikke omdannes til biogass like raskt som mange karbohydrater og proteiner. Kunnskapen om sambehandling og forbehandlingsmuligheter for ulike råvarer og effekten på biogassubytte og biorestkvaliteten er mangelfull.

Råstoffer med opprinnelse i landbrukssektoren som kan egne seg for biogassproduksjon omfatter gjødsel, matavfall, halm og energivekster. Mye av dette råstoffet består av lignocellulose som er relativt vanskelig å bryte ned til biogass uten forbehandling. Forbehandling av lignocelluloseholdige

[1] Litteraturdata om det teoretiske gassutbytte for karbohydrater varierer mellom 0,37 og 0,40 m^3 metan per kg karbohydrater.

[2] Litteraturdata om det teoretiske gassutbytte varierer mellom 0,85 og 1,1 m^3 metanper kg fett, og andelen metan varierer mellom 68 og 72 %.

[3] Litteraturdata oppgir det teoretiske gassutbytte til 0,5 m^3 metan per kg protein, og andelen metan varierer mellom 50 og 84 %.

råstoffer er et av nøkkelområdene i dagens bioenergiforskning (Lynd et al. 2008). For øvrig er internasjonal forskning i stor grad rettet mot prosessoptimalisering og modellering.

En av de mest lovende forbehandlingsmetodene er bruk av høytrykksdamp med eller uten rask trykkreduksjon (Ramos 2003; Mosier et al. 2005). Når man bruker damp til forbehandling unngår man tilsats av kjemikalier, samtidig som det oppnås en hygienisering av biomassen. Dampeksplosjon av biomasse har også blitt demonstrert i industriell skala (Chandra et al. 2007).

Det norske selskapet Cambi AS er verdensledende når det gjelder bruk av dampeksplosjon for å øke utbyttet av biogass. Cambi bruker store ressurser på forskning og utvikling, og har i samarbeid med Universitetet for miljø og biovitenskap bygget Norges eneste pilotanlegg for dampeksplosjon. Dette gir norske forskningsmiljøer en unik mulighet til å være i forskningsfronten når det gjelder forbehandling av biomasse. Det finnes relativt få vitenskaplige publikasjoner som har studert sammenhengen mellom dampeksplosjon og økt biogassutbytte, men et par nye arbeider bekrefter den betydelige økningen i biogassutbytte (Bauer et al. 2009; Teghammar et al. 2010). Dampeksplosjon gjør altså biomassen mer tilgjengelig for mikroorganismene i biogassprosessene, men man vet relativt lite om hva denne effekten skyldes. Det er derfor et betydelig forskningsbehov når det gjelder å forstå hva dampeksplosjon gjør med biomassen, både strukturelt og kjemisk, og hvorfor dette gjør biomassen mer tilgjengelig for mikroorganismer og deres enzymer. Kunnskap om dette vil ha stor betydning for muligheten til å optimalisere forbehandlingsprosessen. Det kan for eksempel være stor forskjell på optimale betingelser for halm fra ulike sorter av havre. I tillegg vil det være viktig å studere dannelse av forbindelser under dampeksplosjon som kan virke inhiberende på mikrofloraen i biogassprosessene. På dette området er også kunnskapsstatusen lav.

Selv om mikroorganismene i en biogassprosess selv produserer enzymer som bryter ned råstoffet, har det blitt vist at ekstra tilsats av enzymer kan øke biogassproduksjonen (Bochmann et al. 2007). Enzymer kan altså brukes som en form for forbehandling, enten alene, eller i kombinasjon med dampeksplosjon. For nedbrytning av biomasse med høyt innhold av lignocellulose bør enzymbehandling kombineres med dampeksplosjon for å være effektiv (Romano et al. 2009). Foruten effekten på biogassproduksjonen vil også enzymer raskt kunne redusere viskositeten dramatisk i råstoffet. Dette åpner nye muligheter for å kjøre biogassprosesser ved betydelig høyere konsentrasjoner av tørrstoff, noe som ville gi både lavere investerings- og driftskostnader. Generelt er det relativt lite kunnskap om bruk av enzymer til forbehandling av biomasse for bruk i biogassprosesser. Det er derfor ønskelig med en økt forskningsinnsats på dette området. Når det gjelder utvikling av 2. generasjons bioetanol, hvor forskningsinnsatsen nå er betydelig, er tendensen internasjonalt at man satser på enzymer for å hydrolysere biomassen.

2.3 Forskningsbehov

I St.meld. nr. 39 fremheves spesielt husdyrgjødsel og matavfall som ressurser for biogassproduksjon i Norge. På dette området har man kommet langt internasjonalt, og vi trenger ikke dra lenger enn til våre naboland for å finne teknikker og kompetanse som kan overføres og tilpasses norske forhold. I distrikter med lav befolkningstetthet kan derimot råstofftilgangen fra matavfall være ubetydelig mens andre lokale/regionale organiske substrater som f. eks. avfall fra fiskeindustri kan ha et langt større potensial (Karlsen et al. 2009). Forskning på særegne regionale organiske substrater, med eller uten forbehandling og i kombinasjon med husdyrgjødsel, som for eksempel avfall fra fiskeindustri bør være en prioritert oppgave. Halm er en råstoffkilde som i dag er mest aktuell for direkte varmeproduksjon, men en del av halmen, spesielt forbehandlet halm, kan med fordel tenkes brukt sammen med gjødsel fra fjørfe/svin. Produksjon av egg og kjøtt fra fjørfe foregår gjerne i store enheter, noe som gjør det gunstig å etablere biogassanlegg for behandling av dette avfallet. Gjødsel fra fjørfe er imidlertid kjent for å være problematisk å behandle i biogassanlegg, men sambehandling med annet råstoff er lite utprøvd.

Det foreligger i dag ingen krav til godkjenning av biogassanlegg som anvender husdyrgjødsel fra egen produksjon. Dette er i tråd med at det heller ikke kreves hygienisering av husdyrgjødsel eller

biorest fra egen produksjon når det anvendes på eget bruk. Dersom anlegget mottar husdyrgjødsel fra andre bruk, må dette godkjennes av Mattilsynet. Likeledes vil bioresten fra slik biogassproduksjon måtte sikres ikke å inneholde smittestoffer. Det er mangelfull kunnskap om hygieniseringsbehov for råvarer eller biorest som ikke har opphav på eget bruk.

- Behov for grunnleggende forståelse for tilpassing av substratblandingen for gassproduksjon og senere anvendelse av biorest.
- Etablere erfaring fra biogassprosesser med andre landbruksråvarer enn storfegjødsel.
- Videreutvikle forbehandlingsmetoder som gir mulighet for utnyttelse av flere ressurser, for eksempel råvarer med et høyt innhold av lignocellulose.
- Sambehandling av husdyrgjødsel med alternative substrat for øket energiutbytte og bedret biorest.

3. Teknologi for biogassproduksjon

3.1 Dagens situasjon – teknologi for biogassproduksjon

Om biogass

Prosessen er en sammensatt mikrobiologisk prosess hvor mange forskjellige typer mikroorganismer deltar og hvor den ene benytter det den andre skiller ut (se Kap. 1.1). Dette kompliserte samarbeidet deler man gjerne inn i flere trinn. Hvert av trinnene er dominert av forskjellige typer mikroorganismer, med ulike krav til miljø, f.eks. til pH, til en viss grad til temperatur, til toleranse for ammonium, organiske syrer og andre vekstbegrensende faktorer. Disse prosessene kan enten skilles i tid (skjer sekvensielt som i en "plug flow" reaktor), i sted (skjer i forskjellige reaktorer, for eksempel 2-trinns reaktorer) eller i mikromiljøet. Dette gjøres eksempelvis ved at mikro-organismene lever i små kuler (granuler) eller i biofilm og hvor de ytterste mikroorganismene har én funksjon, f.eks. hydrolyse, mens mikroorganismene innenfor gjærer monomerene og de innerste mikroorganismene danner metan.

Dagens teknologi – en kort oversikt

Det er utviklet svært mange forskjellige typer biogassprosesser, fra svært enkle små anlegg benyttet i Østen gjennom århundrer til høyteknologiske store industrianlegg. Prosessene kan klassifiseres etter ulike kriterier (Ohr et al. 2002):

- Etter type substrat: Husdyrgjødsel, næringsmiddelavfall, industriavfall (f.eks. fra treforedlingsindustri), kildesortert matavfall, blandet husholdningsavfall, avløpsslam eller blandinger av disse.
- Antall prosesstrinn: Ett-trinns eller fler-trinns prosesser
- Frie mikroorganismer eller biofilmprosesser
- Gjennomstrømning: Plug-flow eller totalomblandet system (CSTR – continuously stirred tank reactor)
- Temperatur: Mesofilt (typisk 30 – 38 ºC), eller termofilt område (typisk 50 – 60 ºC)
- Tørrstoffinnhold: Tørre, halvtørre eller våte prosesser

Våte biogassprosesser arbeider med et tørrstoffinnhold (TS) lavere enn 16 % (Ward et al 2008) og substratet skal være pumpbart og inneholde minst mulig av fremmedlegemer som kan sette seg fast i pumper og røreverk. Våte prosesser er absolutt vanligst, både i Norden og ellers i verden. De er godt egnet for blautgjødsel fra storfe og gris som har et høyt vanninnhold i utgangspunktet. Også tørrere substrater som energivekster og matavfall behandles i våte prosesser, da med tilsetning av vann.

I husdyrgjødsel og annet landbruksavfall er substratet ofte inhomogent og har normalt en TS mellom 2 og 12 %. Derfor velges oftest en reaktor med kontinuerlig omrøring (CSTR – continously stirred tank reactor). Slike reaktorer egner seg også godt til sambehandling av forskjellige typer substrater. Omrøring er viktig fordi nytt substrat raskt blir blandet med mikroorganismene, varme fordeles jevnt, hindrer bunnfall og skum samt frigjør gass bundet i væsken. Ulempen er at en del ubehandlet biomasse følger med utråtnet masse ut (Morken et al. 2005).

To-trinns biogassprosesser gir muligheter for å skille mellom hydrolysen og biogassproduksjonen. Dette gir bedre muligheter for en mer effektiv hydrolyse og et større gassutbytte. To-trinns

prosesser vil imidlertid ha noe høyere investeringskostnader og en mer kompleks drift en ett-trinns anlegg (Ohr et al. 2002). To-trinns prosesser kan være godt egnet for energivekster fordi tyngre nedbrytbare substrater kan kreve mer av hydrolysetrinnet. Ved å variere forholdet mellom volumene i hyrolysereaktoren og biogassreaktoren, kan oppholdstiden være forskjellig. Dette gir langt bedre muligheter for en optimal prosess. I tillegg vil selvsagt pH kunne være forskjellig, og i prinsippet også temperaturen. To-trinns anlegg kan eksempelvis være konsentrisk bygget med en sentral reaktor i sentrum og en "smultring" - reaktor rundt, en konstruksjon med et redusert varmetap. Slike løsninger kan være meget aktuelle for norske forhold, hvor varmetapet er av stor betydning.

Tørre metanprosesser har gjerne et tørrstoffinnhold på 25 – 35 % og er aktuelle ved biogassprosesser som behandler relativt tørt utgangsmateriale som kildesortert matavfall og energivekster. Fordelen med tørre prosesser er at man slipper å håndtere de store mengdene med vandig biorest etter biogassproduksjonen. Vannbehovet er også langt mindre, men biogassutbytte er ofte lavere i denne typen prosesser. Den produserte bioresten må gjerne komposteres og er vanligvis å anse som et jordforbedringsmiddel, og ikke et N-rikt gjødselprodukt som kan erstatte mineralgjødsel i landbruket.

Ved perkolasjonsprosesser (kombinasjon av våte og tørre prosesser) behandles avfall som i utgangspunktet har et høyt tørrstoffinnhold og en porøs struktur. Vann perkolerer/vaskes gjennom materialet. Her skjer det delvis en hydrolyse, og de vannløslige hydrolyseproduktene føres til en biogass reaktortank hvor resten av prosessen skjer. Den faste massen som blir igjen etter perkolasjonen blir gjerne videre stabilisert gjennom en komposteringsprosess. Utfordringene er de samme som for tørre prosesser, gjerne et lavt biogassutbytte og lukt fra det faste substratet man sitter igjen med etter behandlingen av avfallet.

Både tørre prosesser og perkolasjonsprosesser er ikke aktuelle for blautgjødsel, men kan være aktuelle for andre restfraksjoner fra landbruket, for eksempel gras, halm og vekstrester samt for kildesortert matavfall.

Et gjennomstrømningssystem (plug flow) er gjerne utformet slik at substratet strømmer sakte gjennom en passasje med stor overflate (som i en varmeveksler) og hvor organismene sitter på overflaten mens væsken/substratet passerer forbi. I begynnelsen av prosessen skjer hydrolysen mens syredannelse og metandannelse skjer sekvensielt utover i prosessen. Systemet er også utviklet for tørre prosesser hvor massen flyttes gjennom en rørformet reaktor, for eksempel et rør plassert på høykant og hvor masse fylles på toppen og taes ut i bunnen. Prosessen skjer sekvensielt nedover i røret/reaktoren.

Logistikk – biogass reaktortank, buffertank og lagertank

I dette konseptet blir gjerne husdyrgjødselen transportert til, og bioresten fra anlegget med tank, gjerne med traktor. Anlegget er utstyrt med en buffertank for ubehandlet gjødsel, hvor gjødselen tilføres biogassreaktoren gjerne via en varmeveksler med ønsket frekvens/hastighet. Produsert biorest lagres i egne store lagertanker før det spres som gjødsel. Lagertankene kan også være lokalisert hos den enkelte bonde. Et slikt anlegg må i tillegg til biogass reaktortank, buffertank og lagertank, ha systemer for transport av gjødsel/biorest, røreverk som hindrer for stor grad av sedimentasjon i tankene, systemer for oppmaling og knusing av substratet, filtrerings- og separasjonssystemer, enheter for lagring og håndtering av biogass, f. eks generator eller system for kompresjon og transport av biogass. I tillegg kommer analyse- og styringssystemer. I Sverige er det vanlig å benytte lagringstanker for gjødsel til lagring av bioresten. Disse er gjerne dimensjonert for 6 – 10 måneders gjødselproduksjon, og man antar et tilsvarende behov for lagring av biorest på

gårdsnivå. Om lag 20 % av biogassen dannes i lagringstanken for bioresten (Nordberg og Edstrøm, 1997) og det er viktig både ut fra miljøhensyn og ut fra økonomi og ta hånd om denne biogassen. En vanlig løsning er å dekke lagringstanken med en plastduk enten flytende eller spent over tanken. Flytende dekke gir en viss lekkasje, men er en billigere løsning i følge Lantz (2004).

3.2 Utfordringer – Biogass prosess

Utfordringer

Det er gjerne økonomisk gunstig å ha en høyest mulig belastning på anlegget for å utnytte kapasiteten fullt ut. Det er imidlertid flere utfordringer knyttet til dette. I dag vil man ofte drive prosessene suboptimalt for å være sikker på at man unngår overbelastning som medfører opphopning av organiske syrer og/eller ammonium med eventuell skumming eller langvarig skade på prosessen som resultat. Forskjellige mikrobiologiske konsortier (samfunn) vil ha et forskjellig substratbehov/nedbrytningspotensial og ulik toleranse for ulike vekstbegrensninger. Dette medfører at forskjellige konsortier vil være tilpasset forskjellige typer substrater, noe som det er viktig å utnytte på best mulig vis.

For å effektivisere prosessen ønsker man ofte å resirkulere vann for derved å minimere vannforbruket og redusere volumet av produsert biorest. Graden av resirkulering begrenses på tilsvarende måte som ved økt belastning ved oppkonsentreringen av stoffer som etter hvert hemmer mikroorganismenes aktivitet.

Biogassreaktorer basert på ett-trinns prosesser med total omrøring (CSTR) har den ulempen at en del av materialet som tas ut av reaktoren ikke har hatt en tilstrekkelig oppholdstid og er således ikke helt omdannet. Dette medfører redusert biogassutbytte og et potensial for produksjon av restmetan i biorestlageret. Dette er en svakhet ved bruk av denne typen reaktorer, som ellers er svært utbredt, når biogassprosessen innføres som et klimatiltak.

Når man skal blande forskjellige substrater for å få et økt biogassutbytte og bedret økonomi, vil det være en utfordring at forskjellige substrater inneholder komponenter som krever forskjellig nedbrytningstid. Enkelte substrater kan omsettes på noen dager mens andre kan kreve mange uker, noe som stiller spesielle og til dels nye krav til prosessen.

Ved innføring av biogass i landbruket vil det kunne være mest kostnadseffektivt å behandle gjødselen fra de største brukene i første omgang (innen 2020). Blant disse utgjør de brukene / bedriftene som driver med fjørfe en betydelig andel. Slik gjødsel er også konsentrert og er lett å transportere til biogassanlegg. Det er imidlertid en del spesielle utfordringer knyttet til behandling av denne gjødselen, både det at den har et høyt N-innhold og at den ofte inneholder mye "småstein".

Ved tørre biogassprosesser er det en utfordring at mangel på store mengder prosessvann gjør at mesteparten av dannet ammonium ikke løses opp, men lett forsvinner/mistes i form av ammoniakk. En annen utfordring er at sluttproduktet etter tørre prosesser ofte har et stort luktpotensial (stor overflate og mange reduserte organiske forbindelser) slik at overgangen til et luftig utemiljø byr på luktutfordringer. Tørre prosesser har også ofte et lavere biogassutbytte. Utfordringene knyttet til tørre prosesser gjør seg gjerne også gjeldende for perkolasjonsprosesser.

Større gårdsbaserte anlegg og fellesanlegg for et mindre antall gårder er relativt etablert teknologi i land som Danmark og Tyskland. I Norge er gårdsbrukene ofte mindre og avstanden mellom dem er større. Dersom mindre norske gårdsbruk skal kunne ta i bruk biogassanlegg uten for store transportbehov, vil dette måtte være små anlegg med høy grad av automatisering. Den primære hensikten med slike anlegg vil være å redusere utslippene av drivhusgasser, mens biogassen vil være en bonus. Anlegget må derfor kunne opereres med et minimum av manuell innsats og av personell med begrenset innsikt i prosessen. Dette innebærer høy grad automatisering og intelligent overvåking, hvor anlegget "selv" kan gripe inn med korrigerende tiltak dersom det er tegn på at noe er i ferd med å gå galt, f eks at syreproduksjonen er i ferd med å ta overhånd. Anlegget må også

være designet slik at det "selv" kan oppdage drift og feil ved måleinstrumenter. Videre må det kunne gi råd til operatøren om hvordan ulike råstoff best blandes for optimal gassproduksjon, gitt de råstoffer som til enhver tid er for hånden. I tillegg må anlegget være teknisk robust og drifts-sikkert.

3.3 Forskningsbehov - Biogass prosess

- Mikrobiologisk karakterisering av den sammensatte floraen relatert til substrattyper, prosessparametere og biogassproduksjon vil bedre mulighetene for å kunne optimalisere prosessen og gjøre den mer forutsigbar.
- Utvikle metoder for "on-line" prosessovervåkning som gir muligheter for raskere respons på mulige driftsproblemer og sikrer en mer stabil prosess.
- Selv om det er gjort en god del på prosessutviklingen, er etablerte prosesser gjerne dominert av store reaktorer med enkel teknologi (CSTR). Det er rom for å utvikle teknologi egnet for mindre og mer effektive reaktorer, gjerne biofilmreaktorer og flertrinns reaktorer av forskjellig type som sikrer en bedre utnyttelse av substratet og reduserer faren for lekkasje av klimagasser.
- Utvikle teknologi som gjør det mulig å redusere volumet av produsert biorest.
- Utvikle og innarbeide biogassprosesser som kan behandle store mengder med gjødsel fra fjørfe.
- Utvikle metodikk som gir reduserte ammoniakktap og bedre biogassutbytte fra tørre biogassprosesser og reduserte luktutslipp fra sluttproduktene/bioresten som dannes ved slike prosesser.
- FoU for å sikre at anleggene fungerer trygt med hensyn til spredning av smitte og miljøgifter
- Utvikle anlegg som er bedre tilpasset et kaldt klima, enten ved å kunne driftes ved en lavere temperatur, eller ved å redusere varmetapet.

4. Biorest

4.1 Dagens situasjon

De fleste biogassanleggene i Norge i dag er etablert på avløpsrenseanlegg (25 anlegg), og er opprinnelig utformet for anaerob behandling av avløpsslam. Siden avløpsslam gir relativt lite metanutbytte, er det flere anlegg som har bygd opp mottakskapasitet for andre avfallsfraksjoner som behandles i blanding med avløpsslammet. Bioresten fra slike anlegg har samme bruksområder og egenskaper som avløpsslam.

Det er kommet i drift noen biogassanlegg for matavfall i Norge. Anleggene på Lillehammer, Jevnaker og i Nissedal er kommet i normal driftsfase, og produserer metan og biorest. Disse anleggene ble bygd på en forutsetning om at avvannet biorest var det interessante produktet for resirkulering av næringsstoffer. Avvannet biorest ble til dels blandet med strukturmateriale og annen kompost, og nyttet i jordblandinger til grøntanlegg. Flytende biorest ble enten sendt til lokalt renseanlegg eller forsøkt infiltrert i grunnen. Imidlertid er størstedelen av næringsstoffene i den flytende delen, og det er denne som har størst interesse som gjødsel. Utnyttelse av flytende biorest som gjødsel, krever imidlertid utbygging av distribusjonssystem og mellomlagerkapasitet. Mens utnyttelse av flytende biorest som gjødsel i landbruket er hovedbruksmåten i Sverige (RVF 2005), er det til nå beskjedne kvanta som har vært nyttet som gjødsel i Norge. Flytende biorest basert på matavfall egner seg godt som gjødsel til korn (Andersen 2008, Haraldsen og Børtnes 2009), og enkelte bønder har nyttet biorest til overgjødsling av eng med godt resultat.

I Norge er det foreløpig få biogassanlegg som behandler husdyrgjødsel. Husdyrgjødsel alene gir ikke et veldig stort utbytte av metan, og gir et sluttprodukt med lavere tørrstoffinnhold og omtrent samme næringsinnhold som gjødsla hadde opprinnelig. Husdyrgjødsel er likevel antatt å ha et betydelig biogasspotensial (Raadahl 2007, Raadahl et al. 2008), først og fremst fordi den representerer en stor mengde organisk avfall. Anlegg som sambehandler husdyrgjødsel og andre organiske restprodukter (f. eks. restprodukter fra fiskeforedlingsanlegg) kan oppnå større utbytte av biogass og et sluttprodukt som er mer egnet som gjødsel enn råstoffene behandlet hver for seg. Kombinasjonsanlegg for behandling av husdyrgjødsel og andre organiske restfraksjoner er vanlig i utlandet, bl.a. i Danmark.

4.2 Utfordringer

I Norge har det vært mest interesse for optimalisering av biogassutbytte i enkelte anlegg, og mindre fokus på håndtering av næringsstoffene i bioresten. Dersom en tar utgangspunkt i avvannet biorest som nyttes som jordforbedringsmiddel, er totalinnholdet av nitrogen og fosfor og tungmetaller ganske likt i ulike typer biorest. I biorest basert på avløpsslam (Slam I, Slam F, Slam V) er en liten andel av totalt fosfor lett løselig (P-AL), mens nesten alt fosforet i avvannet biorest av matavfall var AL-løselig (Biorest H og I) (tabell 5). I Norge brukes kjemisk felling med jern- eller aluminiumsalter ved de aller fleste avløpsrenseanleggene, og overskudd av fellingskjemikalier bidrar til å binde fosforet i avløpsslammet sterkt (Krogstad et al. 2005). Med tanke på utnyttelse av fosfor som gjødsel, er det viktig at fosfor foreligger i en form som er mulig for planterøttene å få tak i. Tilgjengeligheten av P i biorest vil derfor være svært forskjellig avhengig av om det er nyttet materialer med fellingskjemikalier eller ikke som biogassubstrat. Mengden tilgjengelig P har mye å si for hvilke mengder som kan anbefales brukt pr. arealenhet som gjødsel, og i hvilken grad en kan erstatte bruk av mineralsk P med resirkulert P. Siden P-mengden i avløpsslam utgjør en stor mengde på nasjonalt nivå (Bøen og Grønlund 2008), vil tiltak som kan øke tilgjengeligheten av denne ressursen være av stor betydning.

I enkelte områder i Norge er det svært stor husdyrtetthet, og overskudd av husdyrgjødsel i forhold til fosforbehovet for plantene. I samme områder kan det også være andre avfallsfraksjoner som kan danne grunnlag for etablering av biogassanlegg. Fordi jorda i nærområdet rundt et slikt anlegg er dekket med fosfor, er det ikke noe lokalt marked for biogjødsel med høyt fosforinnhold. Det er derimot stor interesse for biogjødsel med god nitrogenvirkning, lavt fosforinnhold og betydelig innhold av kalium og andre næringsstoffer. Slik gjødsel kan erstatte bruk av mineralsk gjødsel. For å kunne realisere et biogassanlegg i et område med P-overskudd, må en kunne skille fra en fastfraksjon med fosfor, som kan oppgraderes til en organisk-mineralsk gjødsel eller en ren mineralgjødsel. Slike utfordringer har en arbeidet med i Nederland siden slutten av 1980-tallet (Erp og Dijk 1992, Rulkens og ten Have 1994), og løsningene der forutsatte at gjødsel (P-overskudd) kunne eksporteres. Det nederlandske konseptet viste seg i praksis å være lite økonomisk lønnsomt (Vos og van der Putten 2000), og var mer fokusert på å løse overgjødslingsproblematikk enn utnyttelse av metan.

Tabell 5. Innhold av viktige næringsstoffer og utvalgte tungmetaller i avvannet biorest av ulikt opphavsmateriale.

Parameter	Slam I	Slam F	Slam V	Biorest H	Biorest I
Total-N, %	2,62	2,50	1,97	3,31	3,3
NH_4-N, %	0,18	0,55	0,18	0,7	1,2
Total-P, %	2,91	1,33	1,48	0,69	2,1
P-AL, %	0,14	0,04	0,26	0,52	2,1
Total-K, %	0,25	0,22	0,20	0,47	0,16
Total-Ca, %	1,88	1,45	12,5	3,3	7,1
Cd, mg/kg TS	1,8	1,0	0,77	0,84	0,18
Cu, mg/kg TS	231	132	385	91	33
Zn, mg/kg TS	593	373	243	314	130

Etter at avfallsforskriften fra 1.7.2009 innførte forbud mot deponering av nedbrytbart organiske avfallsmateriale, er det fra ulike industrier økt interesse for biogassløsninger. Utfordringen er å finne riktig blanding av materialer, som gir et godt utbytte av metan, god gjødselverdi av bioresten, og ikke medfører kontaminering av sluttproduktet. Gjeldende forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav inndeler behandlet organisk avfall i kvalitetsklasser i forhold til tungmetall-konsentrasjoner på tørrstoffbasis. Når en utnytter en del av det organiske materialet som biogass, øker konsentrasjonen av både næringsstoffer og tungmetaller i bioresten. Forholdet mellom nitrogen og tungmetaller blir imidlertid ikke påvirket i en biogassprosess, mens ved aerob behandling (kompostering) og forbrenning tapes nitrogen, og fosfor og metaller anrikes. Ved oppkonsentrering av rest etter utnyttelse av energi, kan konsentrasjonene av tungmetaller overstige de konsentrasjonsgrensene som gjeldende forskrift har. Ved utnyttelse av biorest dosert som nitrogengjødsel, kan paradoksalt nok en biorest anriket på tungmetaller og nitrogen på TS-basis faktisk tilføre mindre tungmetaller enn matavfallskompost av beste kvalitet og tradisjonell blautgjødsel (tabell 6). Det er derfor viktig å utarbeide et regelverk for utnyttelse av biorest og andre restprodukter etter uttak av energi, som tar hensyn til oppkonsentreringsfaktoren og realistisk bruk av sluttproduktene.

Tabell 6. Konsentrasjoner av næringsstoffer og tungmetaller i blautgjødsel, flytende biorest av matavfall og kompostert matavfall og mengde tungmetaller pr. dekar ved dosering av 8 kg N/daa i organisk gjødsel. (N, NH_4-N, P, K oppgitt som g/100 g TS; resten mg/kg TS)

	Blautgjødsel		Biorest av matavfall		Kompostert matavfall	
	g/100 g TS| mg/kg TS	8 kg N/daa g/daa	g/100 g TS| mg/kg TS	8 kg N/daa g/daa	g/100 g TS| mg/kg TS	8 kg N/daa g/daa
N	3,33	8000	22,9	8000	2,37	8000
NH_4-N	1,50	3603	11,5	4017	0,2	675
P	0,62	1489	1,60	559	0,60	2025
K	4,1	9848	9,4	3284	0,75	2532
S	4730	1136	5970	209	3930	1327
B	28,9	6,9	82,7	2,9	24,2	8,2
Zn	172	41,3	495	17,3	107	36,1
Cu	31,9	7,7	93,9	3,3	39,4	13,3
Cd	0,1	0,02	0,65	0,02	0,25	0,08
Hg	0,08	0,02	0,69	0,02	0,08	0,03

Gjennom gjeldende forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav har en fokus på sju tungmetaller, krav til hygienisk kvalitet og innslag av fremmedlegemer. Forskriften har en aktsomhetsparagraf som i noen grad kan bidra til å sikre at en ikke får kontaminert organiske gjødsel- og jordforbedringsmidler med stoffer som ikke har spesifisert grenseverdi i forskriften. Siden det nå er mange flere organiske restprodukter som ikke er tillatt deponert lenger (jfr. avfallsforskriften), vil flere organiske avfallsmaterialer trenge reduksjon av mengde nedbrytbart organisk materiale før de kan utnyttes eller deponeres. Mange av disse restproduktene vil kunne gi et betydelig merutbytte av metan i en biogassprosess, mens bioresten kan få økt innhold av stoffer som en til nå ikke har deklarert i organiske restprodukter. Risikovurderingen som ble gjennomført for avløpsslam tar heller ikke for seg alle stoffer som kan finnes i slike materialer (VKM 2009), og listen av stoffer angitt i forurensningsforskriften og avfallsforskriften er betydelig lengre enn den gjødselvareforskriften har. Det er derfor viktig at det gjennomføres arbeid som sikrer at kravene i de ulike forskriftene harmonerer, og gjør at organiske avfallsmaterialer kan behandles og næringsstoffer resirkuleres på en god måte. Siden forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav er under revisjon, er det viktig at det gjennomføres forskning som gir et godt grunnlag for å utforme et egnet regelverk som både ivaretar miljømessige og ressursmessige hensyn.

Det kan også tenkes at det er behov for biogassanlegg som behandler energirike avfallsmaterialer som inneholder ulike typer kontaminanter. Målet for slike biogassanlegg kan være å oppnå et stort metanutbytte og en deponerbar biorest. Det kan være behov for å klarlegge om biogass eller andre former for energiutnyttelse/behandling av slike materialer er den beste løsningen.

Siden all utnyttelse av organisk avfall for produksjon av biogass lager en biorest med varierende egenskaper og innhold av næringsstoffer, er håndteringen og utnyttelsen av bioresten og næringsstoffene i den helt vesentlig. Graden av utnyttelse av næringsstoffene i bioresten har stor betydning for i hvilken grad biogassanlegg er et godt klimatiltak. Således må utnyttelse av biogass fra organiske restprodukter ses på som en helhet som omfatter energiutbytte, logistikk knyttet til avfallsfraksjoner inn til anlegg, logistikk knyttet til håndtering og utnyttelse av biorest, og optimalisering av gjødselverdien av bioresten. Således er det ikke uvesentlig hvor en velger å lokalisere et biogassanlegg. Utvikling av analyseverktøy som kan brukes til å vurdere hele kjeden av prosesser fra produksjon av avfall, innsamlingssystemer, behandlingsløsninger, optimalisering av biogassprosess ut fra ulike avfallsfraksjoner og transport og logistikk for utnyttelse av biorest, vil være viktig for å unngå investeringer i anlegg som ikke fungerer etter hensikten.

Dagens regelverk for økologisk drift er ikke tilpasset en situasjon hvor vi ser stadig økende sirkulering av ulike typer substrat mellom industri, avfallssektor og landbruk. Det trengs forskning

og utredningsarbeid for å klarlegge hvilke typer substrat som er egnet i biogassproduksjon der bioresten skal brukes i økologisk landbruk, og hvilke kvalitetskriterier som bør legges til grunn. Som grunnlag for utvikling av regelverket innen økologisk landbruk trengs også utredning av praksis og regelverk i andre land. Økobønder er generelt motivert av miljø og ønsker å drive miljøvennlig; de ønsker også å bli mindre avhengige av fossil energi. De vil derfor ha en spesiell interesse av biogass både mht gjødselhåndtering og energiforsyning på gården. For bruk av biorest som gjødsel i økologisk landbruk er det nødvendig med kunnskap som sikrer forutsigbar leveranse av trygg gjødselvare.

4.3 Risiko ved bruk av biorest til landbruksformål

Gjennom gjødselvareforskriften og EUs forordning om animalske biprodukter stilles som krav til gjødselvarer fremstilt av organisk avfall at de ikke skal medføre fare for overføring av sykdomssmitte til mennesker, dyr og planter. De definerte kravene gjelder indikatororganismer. Det kan likevel være forskningsbehov knyttet til mulige patogene biologiske enheter i biorest.

Likeledes er det lite dokumentert hvordan råvarene for biogassproduksjon påvirker innholdet av uønskete stoffer som tungmetaller eller organiske miljøgifter, og om slike uønskete komponenter har effekt på helse og miljø.

4.4 Forskningsbehov

- Utnyttelse av flytende biorest som alternativ til mineralsk gjødsel.
- Metoder for økt P-utnyttelse av fosforrike biorester og utvikling av fullverdige gjødselprodukter basert på slike materialer.
- Utnyttelse av biorest til biomasseproduksjon for energiutnyttelse og utvikling av grønne næringer som ikke er matproduksjon.
- Miljøvirkninger av stoffer i biorest som det i dag ikke er definerte krav til i biogassubstrater.
- Forekomst og biologisk aktivitet av miljøgifter og patogener som følge av utvidet råvarespekter.
- Strategier for effektiv resirkulering av biorest til landbruksproduksjon

5. Bruksmuligheter for biogass

Biogass består i hovedsak av CH4 (45-70 %) og CO2 (25-45 %), men inneholder også mindre mengder vanndamp (0-10 %), N2 (0.01-5 %) H2S (0.1-0.5 %) og NH3 (0.01-2.5 mg/m3), samt spor av H2, CO og O2.

Biogassen kan ha følgende anvendelser: i) direkte forbrenning (oppvarming av hus, lys eller matlagging); ii) kombinert kraft varmeproduksjon i stempelmotorer eller gassturbiner; iii) biometan som gassformig drivstoff og iv) katalytisk konvertering til flytende drivstoff iv) omforming til elektrisitet i brenselceller.

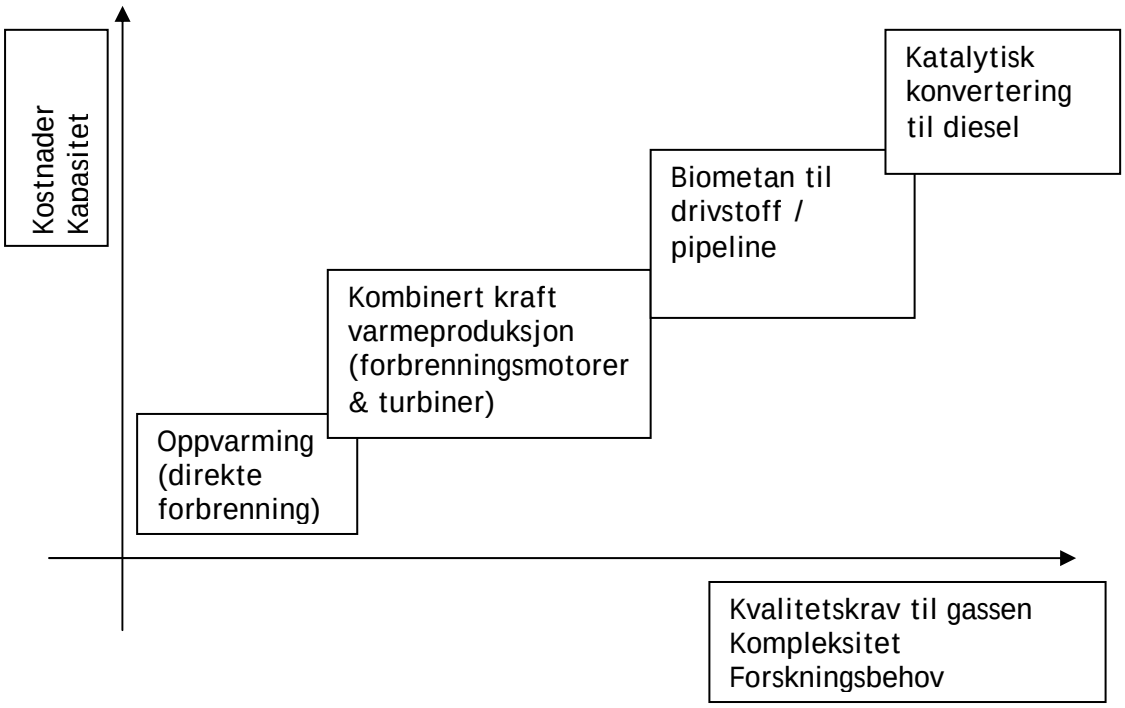
Avhengig av anvendelse er en videre prosessering nødvendig hvor H2S, CO2 og H2O fjernes fra gassen. Virkningen av de forskjellige komponenter i gassen er presentert i tabell: 7 ; som er korrosjonsproblemer i armaturer, brenner og motorer; ved oppgradering til flytende drivstoffer fører sporer av H2S til katalysatorforgiftning. Karbondioksid og nitrogen er riktig nok inert, men bidrar ikke til brennverdi i gassen og fjernes derfor i anvendelser hvor økt brennverdi er nødvendig.

Tabell: 7 Komponenter i Biogass og dens innflytelse

Komponenter	**Konsentrasjon [vol]**	**Virkning**
Methan CH_4	45 – 70 %	Brennbar komponent
Karbondioksid CO_2	25 – 45 %	Reduserer brennverdi, negativ innflytelse på tenningsegenskaper, motorkorrosjon Inert gass som øker gassvolum til prosessering
Hydrogensulfid H_2S	0.1 - 0.5 % 0 – 5000 ppm	Korrosjon i aggregater og rør, danner SO_2 etter forbrenning Katalysatorgift
Ammoniak NH_3	0 – 0.05% 0 – 500 ppm	Negativ innflytelse på tenningsegenskaper, danner NO_x etter forbrenning
Vann H_2O	0 – 10 %	Korrosjon i aggregater og rør, øker trykk i motorer
Støv	< 5 μm	Støvavleiringer, spesiell dyser i motorer og turbinblader
Nitrogen N_2	0.01 – 5%	Reduserer brennverdi, negativ innflytelse på tenningsegenskaper Inert gass som øker gassvolum til prosessering

Forskningsbehov for anvendelsen av biogass varierer sterkt og er knyttet til kompleksiteten av valgt anvendelse. Minst forskningsbehov knytter seg til direkte lokale anvendelser som rent forbrenning

eller mikrokraftverker, kraftvarmeproduksjon i små og mellomskalaanlegg er etablerte teknologier og har en begrenset behov for forskning unntatt økt effektivitet. Forskningsbehøv for større anlegg knytter seg til oppgradering av gasse, her er det behov for alternative renseprosesser med økt effektivitet og lavere kostnader. Størst forskningsbehøv knytter seg til katalytisk konvertering av biogassen til diesel (Fischer-Tropsch), BioDME og .. Lignende kvalitative betraktninger som for forskningsbehovet gjelder for sammenheng mellom kostnader (driftskostnader og kaptialbehov), kapasitet, kvalitetskrav og kompleksitet av prosessen, dette er skjematisk vist i figur 1



Figur1: Skjematisk sammenheng mellom kostnader, kapasitet, kvalitetskrav, kompleksitet og forskningsbehov

5.1 Dagens situasjon

5.1.1 Direkte anvendelse av biogass

Anvendelse av biogass kan grupperes i flere grupper som vil behandles i teksten. De mest enkle anlegg (mikroanlegg) vil utnytte gassen i en direkte forbrenning til varme (matlaging og oppvarming av byggningsmasse). Utfordringen her at norsk infrastruktur for denne typen energi er lite utbygd. I U-land er denne typen av energiforsyning utbred og sikrer en desentralisert energiforsyning i regionen. I Mellomeuropa er anvendelse av gass til oppvarminig utbredt og infrastruktur er vel etablert.

For små-og mellomskalaanlegg består konfigurasjon ofte av kombinerte kraft-varmeverke hvor en forbrenningsmotor eller mikroturbin sørger for produksjon av elektrisk kraft samt utnyttelse av kjølevarme fra motorer for egenforbruk eller salg. Disse systemer er utbredt i bland annet Tyskland grunnet gunstige statlige virkemidler for denne typen utnyttelse av ressurser, produserte energi erstatter fossil generert kraft og varme. Inntekstpotentiale for operatøren er sikret gjennom statlig garantert avtagelse av strøm, minste priser samt en bosettingsmønster som gjør lokal fjernvarmenettverk lønnsomt.

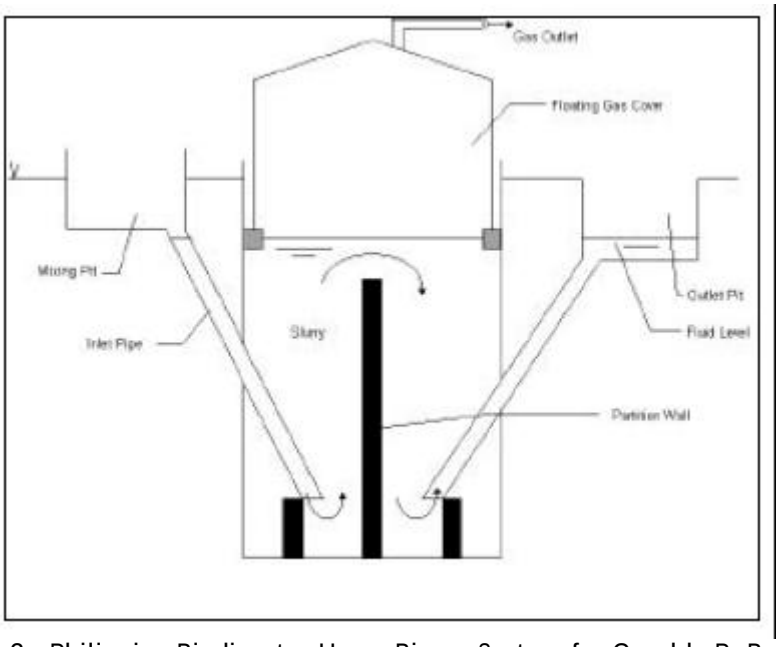
For storskalaanlegg er det en kombinasjon av kraft varme-produksjon samt oppgradering av biogassen mulig. Kraftvarmeanlegg produserer energi til egenforbruk for driften av prosesseringsanlegg for oppgradering av biogassen Oppgraderingen består av en rensetrinn (fjerning

av vann og sure gasskomponenter), komprimering til biometan (komprimert eller flytende gass) eller til eventuell katalytisk konvertering til flytende drivstoffer. Biometan kan utnyttes som gass som tilføres eksisterende gassnettverk for distribusjon; videre komprimering til flytende biogass som drivstoff.

Direkte anvendelse av biogass

Mikroskala gårdsanlegg

Direkte forbrenning for produksjon av varme til matlaging og oppvarming av hus krever et minimum av teknisk utstyr og rensing av gassen. Disse enkle systemene anvendes primært for egenforsyning med varme. Teknologien vist i figur 2 blir ofte betegnet som "U-landsteknologi". Anvendelsen sikrer lokal tilgang til fornybar energi basert på mat og landbruksavfall og er utstrakt i bruk i u-land og Øst-Europa. Ett eksempel på et slikt "low-tech" system er tilgjenglig på http://www.appropedia.org/Home_biogas_system_(Philippine_BioDigesters). Tilpasning og oppskalering av denne typen anlegg for lokal anvendelse til europeisk standard vil være mulig med enkle midler. Direkte forbrenning i gassbrenner for varmeproduksjon krever minst rensing av gassen, og vannet kan tørkes gjennom kjøling av gassen. Eventuelle H2S forurensninger kan fjernes mikrobiologisk gjennom tilføring av noe luft i gasslageret. Tilgang til luft fører til en oksidering av H2S til SO2 og SO3, det er rapportert konsentrasjoner av H2S ned mot 100ppm.



Figur 2: Philippine Biodigester Home Biogas System fra Geraldo P. Baron

Gassen fra større installasjoner kan også levers til eksisterende bioenergianlegg hvor den erstatter fossil brensel under lavlast operasjon eller under oppstart av disse anleggene.

Gårdsanlegg

For gårdsanlegg vil direkte forbrenning i enten gassturbin eller forbrenningsmotor være mest effektivt på grunn av begrenset behov for rensing av gassen, noe som reduserer kapitalbehovet og kompleksiteten til anlegget vesentlig. Det vil være nok å rense gassen mikrobiologisk. Slike enkle anlegg har lave krav til gasskvaliteten og er derfor mer fleksible mht råstoffer (tilgang og type).

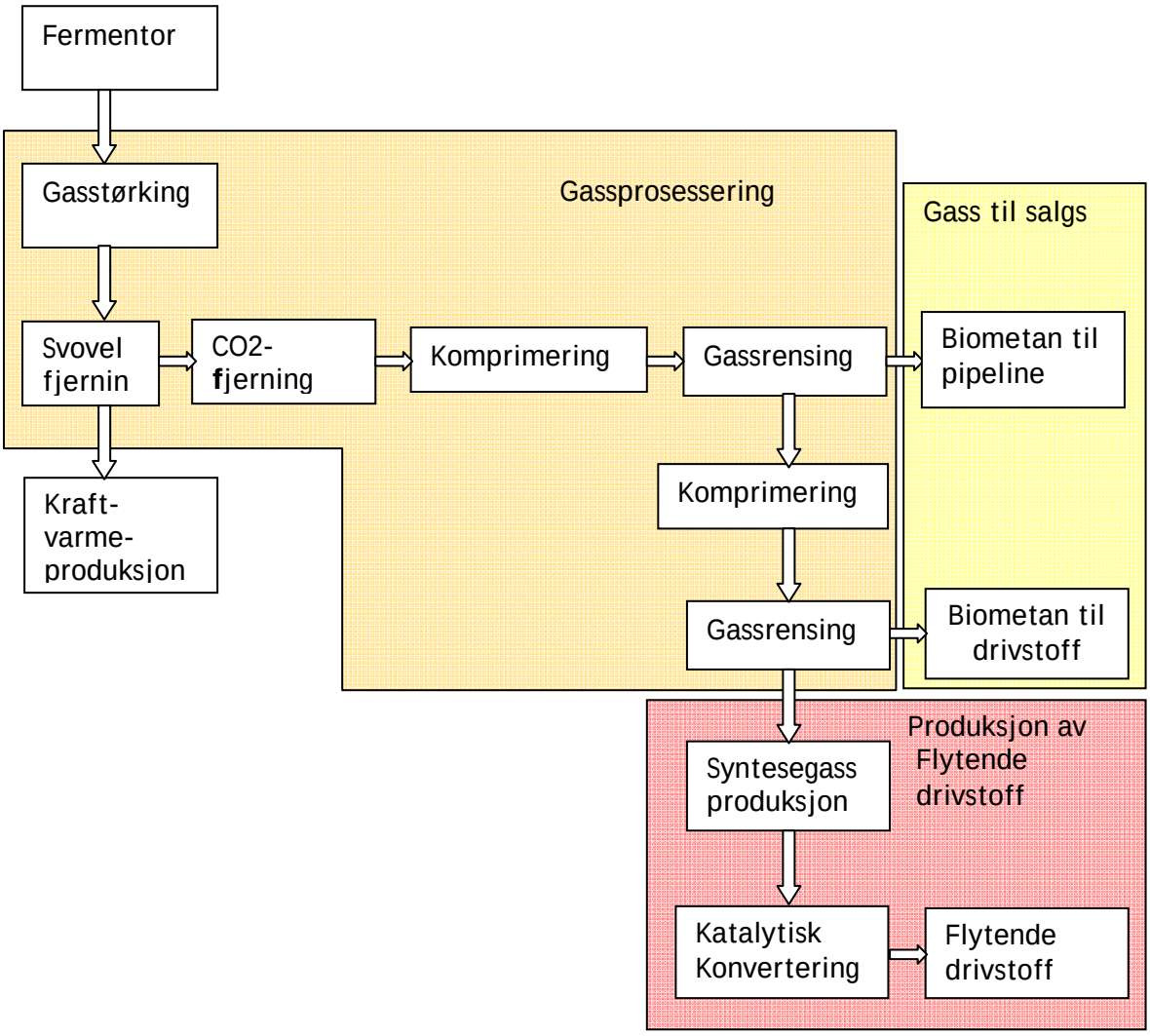
Utvidelse av systemet ovenfor øker kapitalbehovet og kompleksiteten, men samtidig er produksjon av strøm til eget forbruk eller salg mulig. I 2005 ble Jühne i Tyskland tildelt "Europäischer Umweltpreis" for bygging av et kombinert kraft-varmeanlegg bestående av el-kraftproduksjon og fjernvarmenett (biogassanlegg med 700 kW pluss fyrkjel for biomasse med 550 kW) som minimerte tilførselen av strøm og varme til tettstedet (700 innbygger). Et lignende system er under planlegging på Ørland, Sør Trøndelag.

Det er gjennomført overslagsberegninger for småskalabiogassanlegg med kombinert kraftvarme produksjon. Det er antatt en gård med 60 enheter (melkekyr og slaktedyr) og en samlet strømforbruk på ca. 70 000 kWh. Det er tilgang til gjødsel fra dyrene 6 måneder per år, dette gir ca. 1200 t, biogassproduksjon fra dette mengde estimeres til 14 m3 metan/ton gjødsel, brennverdien er 13,9 kWh/m3 ved 65% CH4. Med estimert gassmengde på 16800 m3 CH4 tilsvarer dette 233500 kWh/år i utnyttbar brennverdi i gassen. En småkraftverk bestående av en tennstråldieselmotor (5% biodiesel og 95% biogass) i kombinassjon med en 7.8 kW strømgenerator vil har en samlet virkningsgrad på ca. ηel= 30%; dette kraftverk kan på årsbasis dekke strømforbruket til gården. Med en strømpris (eks. nettleie og avgifter) på 50 øre/kWh gir dette en omsetning på 35000 NOK. Det skisserte anlegg vil ha investeringskostnader på 1100 kNOK for biogassproduksjon med en enkelt rensing (vann og H2S) samt ca. 300 kNOK for en gassmotor med generator. Det er ikke tatt hensyn til utnyttelse av kjølevann eller varme fra avgassen til motoren i overslaget; denne energien benyttes til å opprettholde optimale betingelse i fermenter respektive for sterilisering av bioresten. En mulig avtak gjennom en lokal fjernvarmenett er ikke tatt i betraktning.

Kraftproduksjonen skjer ved forbrenning i mikrogassturbiner eller motorer (kombinert kraft/varme produksjon, for eksempel: http://www.turbec.com) på produksjonsstedet og krever minimal rensing. Motorsystemer basert på konverterte dieselmotorer (eller tennstråledieselmotorer) er tilgjenglig fra blant andre Haase (http://www.haase-energietechnik.de), Jenbacher (www.jenbacher.com) og EnerG (http://www.energ.co.uk/Digester_Gas_Utilisation). Virkningsgraden for disse systemene er som regel 30 – 40 % ved ren strømproduksjon og 70 – 80 % ved kombinert kraft/varmeproduksjon. Kostnader for kombinerte kraft-varmeproduksjonsanlegg er tilgjenglig på http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/afi11109. Beregninger med hensyn til lønnsomhet av slike systemer er i stor grad avhengig av kostnadene for tilkobling til nettet og hvilken energipris som oppnås ved salg av elektrisk kraft respektive varme.

Storskalaanlegg

I Norge finnes flere anlegg for produksjon av biogass i større skala. For storskalaanlegg er det nødvendig med en kombinasjon av kraft/varmeproduksjon til eget forbruk og gassrensing til biometan eller biodrivstoff (komprimert biometan).). Et flytskjema for et slik anlegg er gjengitt i Figur 3



Figur 3: Prosessflytskjema for oppgradering av Biogass til Biometan for anvendelse i pipeline (84 bar), drivstoff (200 bar) eller til flytende drivstoff (diesel)

Siden 2001 har det vært produsert metan fra råtnetanker hos FREVAR KF i Fredrikstad. Deler av gassen renses av Fredrikstad Biogass AS (FBAS) til bruk i busser. FBAS oppgir kapasiteten til 350 000 Nm^3/år, dette anlegget anvender "Pressure Swing adsorption" for gassrensingen. Tilsvarende biogassanlegg er etablert i Mekjarvik, Rogaland av IVAR KS og skal etableres på Jæren. Oslo kommune ved Vann og avløpsetaten er i ferd med å etablere et større anlegg for utråtning av kloakkslam ved Bekkelaget renseanlegg, renseprosessen med H_2S- og CO_2-rensing baserer seg på aminscrubber (LP Cooab-prosessen[4]). Kapasitieten på anlegget tilsvarer forsyning av 80 busser med biometan (drivstoffkvalitet). Felles for alle disse anleggene er lukkede råtnetanker for anaerob nedbrytning.

Skal gassen leveres til "nett" eller anvendes til drivstoff er omfattende oppgradering nødvendig for å oppnå tilstrekklig god gasskvalitet. Biogass som drivstoff eller biometan (erstatter naturgass) krever rensing tilsvarende 97-98 % CH_4, < 2 % CO_2 og maksimum 0,1 ppm H_2S. Fjerning av CO_2 er nødvendig for å gi gassen tilstrekkelig brennverdi. Denne prosessen består av kompressor, vannutskiller, absorpsjonstørker (H_2O) og aminabsorpsjonskolonne (NH_3, CO_2O). For biometan kreves

[4] Purac LP Cooab prosess: http://www.purac.se/inc/pdf/en_purac_cooab.pdf

komprimering til 84 bar (avhengig av nettet), mens biodrivstoff krever ca. 200 bar trykk for å oppnå tilstrekklig energitetthet.

Raadahl et al. (2008) refererer til Steinhauser og Deublein (2008) hvor ulike metoder for å rense CO_2 fra CH_4 er gjennomgått:

1. Vannskrubbing
2. Pressure Swing Absorption (PSA)
3. Membranteknikk
4. Kryogene metoder

Vannskrubbere baserer seg på absorpsjonsprosesser som utnytter at metan og karbondioksid har ulike løselighetsegenskaper i væsker. Den mest vanlige væsken er vann, eller vann tilsatt karbonat (natrium eller kalium), men også metanol og andre organiske væsker som tetrahydro thiophenedioksid (Sexsol prosess) og monoetanolamin (Kjemisorption)) er brukt. Vannskrubbere resirkulerer vanligvis vannet. Til forskjell fra andre vannskrubbere bindes karbondioksid kjemisk i kjemisorption-prosesser, og ved å endre temperatur frigjøres karbondioksiden igjen.

Absorpsjon sammen med endringer i trykk blir kalt PSA (pressure swing absorption), og utnytter at noen materialer absorberer/avgir karbondioksid ved endring av trykk. Et materiale som er mye brukt er zeolitt, som lar metan passere, men absorberer karbondioksid.

En membran består av en eller annen form for kunststoff. Ved membranteknikk utnytter man at ulike gasser har ulik hastighet gjennom slike materialer. Prinsippet for gassrensing med membran er at karbondioksid, vann og hydrogensulfid har relativt høyere gjennomtrengningshastighet gjennom membranen enn metan, og på den måten kan gassen renses. Nitrogen er vanskeligere å rense ved denne metoden fordi metan og nitrogen har nesten like egenskaper mht. gjennomtrenging av membraner (ICG, 1998).

Ved kryogene metoder utnytter man at ulike gasser kondenserer ved ulike temperaturer. Eksempelvis kan man ved å avkjøle luft til -183°C kondensere ut oksygen. Nitrogen kondenseres først ved -196°C. Teknikken er meget god, men krever mye energi og har følgelig høye driftskostnader (ICG, 1998).

Små til mellomskala oppgraderingsanlegg er tilgjenglig (http://www.malmberg.se) og storskala anlegg leveres av AGA (www.aga.se) og Linde AG (www.linde.de). De fleste industrielt tilgjengelige rensemetodene for fjerning av CO_2 baserer seg på absorpsjon i aminløsninger, disse prosesser er effektive men er kjennetegnet av høye investerings- og driftskostnader. Alternative til aminscrubber er membranbasert prosesser; karbonmembran baserte moduler er under utvikling av firmaet MemfoACT. Foreløpige resultater viser gode egenskaper for separasjon av CH_4 og CO_2 i laboratorieforsøk, anvendelse i stor skal er ikke rapportert.

De ulike metodene for fjerning av karbondioksid vil medføre at noe metan tapes og slippes ut til atmosfæren. Vannskrubbere og PSA metodene gir tap på opptil 2 % (Persson og Wellinger, 2006), mens vannskrubbere med monoetanolamin skiller seg ut med tap på mindre enn 0,1 %. Kryogene metoder gir også små tap (Kättsröm, 2008), og firmaet Scandinavian GtS oppgir tapet til under 0,5 %. Det finnes svært ulike tall for tap fra membraner. I første rekke varierer tapet med mengde gass som renses. Membraner gir økende tap med økende mengde gass som renses inntil 3 % (Özdemir et al., 2008).

Produksjon av flytende drivstoff

Som råstoff for katalytisk konvertering til flytende drivstoff (syntesediesel, Bio-Di-Metyl-Eter) benyttes biometan som i tillegg har gjennomgått resning bestående av vasking med lut (NaOH eller CaOH) bakteriologisk rensing, et siste rensetrinn hvor aktivt kull absorberer rester av H_2S er oft nødvendig for å unngå katalysator forgiftning. Dette øker igjen kompleksiteten og kapitalbehovet og krever forholdsvis store kombinerte kraft-varmeanlegg for å forsyne prosessen med energi. Mens storskala produksjonsanlegg for biometan i dag er kommersielt tilgjenglige, er katalytisk konvertering av biogass til syntesegass med avsluttende katalytisk omsetning til flytende drivstoff

(diesel) ikke kommersielt tilgjenglig. Forskningsprosjekterfor produksjon av Bio-DME gjennomføres av bland annet Volvo (se: http://www.refuel.eu/biofuels/bio-dme/ og http://www.biodme.eu/)

For en optimal oppgradering av gassen til DME eller diesel er det nødvendig at biogassen renses (fjerning av CO_2, H_2S, H_2O, N_2). Gassen omsettes til syntesegass hvor forholdet mellom H_2 og CO justeres slik at dette er nærmest mulig 2:1. I en katalytisk reaksjon omsettes syntesegassen til voks som senere brytes katalytisk ned til diesel av drivstoffkvalitet.

Industriell fremstilling av syntesegass foregår ved partiell oksidasjon, vanndamp- eller autoterm reformering gitt ved reaksjonene under:

$$2CH_4 + O_2 \longrightarrow 4H_2 + 2CO$$ (partiell oksidasjon)

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow 3H_2 + CO$$ (vanndamp metanreformering)

$$2CH_4 + O_2 + CO_2 \longrightarrow 3H_2 + 3CO + H_2O$$ (autoterm reformering med CO_2)

$$4CH_4 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 10H_2 + 4CO$$ (autoterm reformering med vanndamp)

Produksjon av diesel fra syntesegass foregår med Fischer-Tropsch (FT) syntesen hvor H_2 reagerer med CO over enten en kobolt- eller jernbasert katalysator. Det dannes lange hydrokarbonkjeder ved kjedevekst (innsetting av $-CH_2-$)..

$$nCO + 2nH_2 \xrightarrow{\Delta H = -165 kJ/mol} -(CH_2)_n - + nH_2O$$ (FT)

Hvis H_2:CO forholdet er lavere enn 2, økes H_2 ved vanngasskiftreaksjonen (WGS).

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2$$ (WGS)

Fischer-Tropsch syntesen er en hurtig og sterkt eksoterm reaksjon hvor reaksjonshastigheten er begrenset av varme- og masseoverføring i prosessen. Begrensninger i varmeoverføring sammen med raske overflatereaksjon gir lokalt kraftig varmeutvikling i katalysatoren. Dette resulterer i økt uønsket metanproduksjon ograskere katalysatordeaktivering pga. lokal sintring på katalysatorpratikkeloverflate.

I kommersielle FT prosesser benyttes multitubular fixed-bed-reaktorer eller slurry-reaktorer med små katalysatorpartikler, begge teknologier egner seg best til storskala produksjonsanlegg og krever dermed også tilgang til store gassressurser. Som eksempler kan nevnes Sasol (kull til diesel) og Shell sine GTL-anlegg (GtL, Naturgass til diesel) i Qatar på henholdsvis 34.000 og 140.000 bpd. Økonomisk nedre forsvarlige produksjonsgrense antas å ligge på ca 20.000 bpd (barrels pr day, 1 barrel = ca 160 liter). Investeringskostnader på eksisterende GTL-anlegg er ikke tilgjenglig, av anleggetskostnader estimeres at syntesegassfremstillingen fra naturgass vil utgjør ca 60 % av de totale investeringskostnadene.

Velocys/Oxford Catalyst Group[5] og CompactGTL[6] hevder å ha teknologi for prosessintensifisering av GTL-prosessen. I henhold til Velocys vil et BTL-anlegg (mikrostrukturerte reaktorer for syntesegass produksjon og katalytisk konvertering) være økonomisk lønnsomt ned til 500 bpd diesel (ca 80 m^3/dag) (Silva, 2009), det er stor usikkerhet hvor "liten en slik anlegg kan være for å være fremdeles øknomisk forsvarlig.

For produksjon av DME er innledende prosesstrinner analog som for produksjon av syntese diesel. Tradisjonell produksjon er basert på en prosess som benytter metanol som mellomprodukt. Nye forskning er rettet mot direkte katalytisk produksjon av DME fra syntese gas. Reaksjoner følger følger

$$2CO + 4H_2 \longrightarrow (CH_3)-O-(CH_3) + H_2O$$

[5] www.oxfordcatalysts.com
[6] www.compactgtl.com

Prosessteknisk (kompleksitet og kostnader) er disse anlegg sammenlignbart med Fischer-Tropsch-synthese (se http://en.wikipedia.org/wiki/Dimethyl_ether og Agroetanol, www.agroetanol.se, 2007-03)

5.2 Utfordringer

For å nå målsetningene om reduksjon av klimagassutslipp er det nødvendig å vurdere hvordan biogassen bør utnyttes på best mulig måte. Gjennom utarbeidelse av klimaregnskap for avfallshåndtering er det konkludert med at utnyttelse av biogassen og hva den erstatter har stor betydning for mengden sparte klimagassutslipp (Raadal et al., 2009a).

Østfoldforskning har konkludert med at biogass er det mest miljøvennlige drivstoffet som finnes på markedet, både med tanke på klimagassutslipp og også for en rekke andre lokale forurensningskategorier For å oppnå best effekt av de lokale miljøfordelene bør biogass som drivstoff først og fremst benyttes til transportformål i tettbygde områder (Radaal et al., 2009b).

Utfordringer i forhold til utnyttelsen av biogass er i knyttet til hvilken anvendelse gassen er tiltenkt og dermed hvilken foredlingsgrad som velges. De økonomiske rammebetingelser (kaptial, driftskostnader og mulig inntjening) vil være en direkte følge av dn valgte anvendelsen. De teknologiske utfordringer for anvendelse innen direkte oppvarming, små- til mellomskala kraft-varmeproduksjon og større anlegg for produksjon av biometan til drivstoff eller erstatning for naturgass er begrenset. Ved mindre anlegg vil anleggskostnader blir dominerende og hindre en foredling av gassen, utfordringer er derfor knyttet til prosessoptimering (eller forenkling) samt kostnadsreduksjon for anleggskomponenter og prosessoptimering. De største utfordringer er gitt hvis biogass skal konverteres til flytende brensel (DME eller diesel), denne teknologien er ikke utviklet tilstrekklig for mellomskala anlegg, per i dag eksisterer noen meget store installasjoner som benytter seg av "stranded natural gas resources", dette er gassforekomster hvor en transport av gassen til en market er ikke økonmisk forsvarlig..

5.3 Forskningsbehov

Forskningsbehov for anvendelse av biogass:

- Direkte forbrenning (oppvarming av hus eller matlaging) krever kun ren "engineering" for at disse små-skala anleggene skal kunne anvendes for lokal varmeleveranse.
- Teknologien for kombinert kraft-varmeproduksjon er kommersiell tilgjenglig. Teknologien må i pris og størrelse tilpasses lokale behov for å være kostnadseffektiv.
- Produksjon av biometan som gassformig drivstoff eller erstatning for naturgass basert på "aminscrubber teknologi" er i stor grad kommersialisert. For mindre anlegg er det behov for optimering for å redusere kostnadene, kompleksiteten og energiforbruket ved produksjon. Spesiell viktig vil være:
    - Effektiv fjerning av H_2S og andre sure gasser
    - Gassrensing ved hjelp av membranprosesser
- Katalytisk konvertering til flytende drivstoff fra biogassen krever en omfattende forskningsinnsats. Teknologien for direkte konvertering av biogass til DME og syntetisk diesel er ikke kommersielt tilgjenglig; teknologi fra Sasol og Statoil er av en størrelsesorden som overstiger tilgangen til biogass i et norsk anlegg. Prosessanlegg tilpasset lokale forhold bør utvikles hvis en anvendelse av biogass til flytende drivstoff skal være økonomisk forsvarlig. Spesifikke forskningsoppgaver er:

- Forskning for optimering av syntesegassproduksjonen eller metanreformering. GlidArc Technology, Frankrike bruker en lysbue/plasma-teknologi som også kan konvertere en blanding av CH_4 og CO_2 direkte til syntesegass:

  $$CH_4 + CO_2 \longrightarrow 2H_2 + 2CO$$ (CO_2 metanreformering)

  GlidArc Technology har rapportert suksess med denne teknikken i laboratorieskala, men det er ikke kjent at det finnes industrielle anvendelser ennå. Det er kjent at en slik direkte konvertering har betydelige problemer med koksdannelse. Forskningen mot oppskaleringen av en slik metanreformering er vital for å øke omsetningen i prosessen.

- Optimering av reaktorteknologi: I kommersielle anlegg benyttes det enten fixed-bed eller slurry-reaktorer; for mindre anlegg er anvendelse av mikrostrukturerte reaktorer (prosess intensivering hvor masse- og varmeoverføringsegenskapene er vesentlig forbedret) en alternative. Mikrostrukturerte reaktorer består typisk av mange parallelle reaktorkanaler med indre diameter i området 0.1-1 mm som er i kontakt med kjølekanaler; reaktorkanalene er enten belagt med katalysator eller fylt med katalysatorpartikler. SINTEF Materialer og Kjemi har i samarbeid med StatoilHydro og Forschungzentrum Karlsruhe også testet ut bruk av mikrostrukturert reaktor for Fischer-Tropsch syntese (Myrstad et al. 2009). Konklusjonen fra dette arbeidet er at reaktorteknologien virker og at det er mulig å operere reaktoren ved høye omsetninger uten økt deaktivering. Parallell til arbeid med Fischer-Trospch syntese pågår det arbeid for direkte katalytsik syntese av DME fra syntesegass.

- Teknisk økonomiske evalueringer av konverteringsprosesser hvor verifikasjon av virkningsgraden er en integrert del av analysen.

6. Miljøaspekter knyttet til produksjon og bruk av biogass

6.1 Innledning

Miljømessig ønsker man ved biogassbehandling å oppnå reduksjon av utslippene av klimagassene metan og lystgass, samt produsere fornybar energi i form av biogass. Biogassteknologien skal redusere de samlede utslipp av skadelige klimagasser fra landbruket. Dette betinger at en velger god og gjennomprøvd teknologi for hele anlegget. En må her ta hensyn til forhåndslagring av råstoff, reaktorkvalitet, bruk og håndtering av gass, etterlagring av biorest og bruk av denne som gjødsel til planteproduksjon. Ambisjonsnivået må være høyt med hensyn til utslipp fra biogassanlegg i Norge, noe som innebærer strenge kvalitetskrav på dette punktet.

Reduksjon av metanutslipp skulle i prinsippet være relativt enkelt å beregne, men vi mangler mye viten om de faktiske forhold. Metan dannes av metandannende mikroorganismer under lagring av gjødsel. Temperaturen er av stor betydning, likeledes gjødseltype. En del metan kan i sin tur bli oksidert i øverste del av gjødsellageret som vil kunne eksponeres for oksygen/luft. Norge bruker standardiserte modeller som er foreslått av IPCC. Siden både temperaturforhold, lagrenes størrelse og utforming, lagringstid og andre forhold kan avvike nokså mye, er det et stort behov for å få disse modellene verifisert for norske forhold.

En reduksjon av utslippene av lystgass er komplisert å beregne, og vi mangler kunnskap både om utslippene fra gjødsellager, fra jord, og ellers hvordan spredning av biogassbehandlet gjødsel påvirker dannelsen av lystgass i jordsmonnet, avrenning av nitrogen med etterfølgende produksjon av lystgass, og utslipp av ammoniakk som i sin tur danner lystgass i atmosfæren.

Utslipp av ammoniakk har minst to effekter. Det ene er at reduksjon av utslipp reduserer mengde som blir oksidert til lystgass i atmosfæren, og indirekte ved at redusert utslipp kan føre til økt utnytting av husdyrgjødsel og derav redusert forbruk av mineralgjødsel.

Tidligere beregninger - metan

Tabell 7 viser beregnede utslipp av metan basert på IPCC-metoden, som brukes av SSB, og basert på forsøksresultater fra Nederland. Tabellen viser tydelig at det er svært store forskjeller både for gris og fjørfe. Dersom vi skal beregne det virkelige drivhusgass-reduksjonen, må vi verifisere de norske utslippstallene.

Tabell 7. Prosentandel av metanutslipp fra fordøyelse og lager, samt beregning av totalt utslipp fordelt på ulike dyreslag. Beregnet etter Monteny et al. (2006) og SSB (2009)

	Fordøyelse (% andel)		Lager (% andel)		Utslipp (tonn/år)	
Husdyr	Monteny et al. (2006)	SSB (2009)	Monteny et al. (2006)	SSB (2009)	Monteny et al. (2006)	SSB (2009)
Storfe	75 - 83	87	25 - 17	13	101 000	71 997
Gris	30	43	70	57	22 000	2 354
Fjørfe	~0	5	100	95	11 000	1 657
Sau og geit	-	95	-	5	-	22 428
Andre dyr	-	76	-	24	-	5 623
Sum					134 000	100 585

Temperatur
I likhet med de fleste biologiske prosesser er anaerob fermentering også sterkt avhengig av temperatur, og vi må kunne skille utslippene mellom kildene fjøs og lagring i sommerhalvår og lagring i vinterhalvår (Sommer et al. (2004).

Metanoksidasjon
Metanoksidasjon er lite undersøkt. Et forslag fra Danmark er 10 %, men dette synes å være dårlig vitenskapelig dokumentert.

Lystgass

Lager
Lystgass kan dannes under lagring av gjødsel ved at ammoniakk/ammonium blir oksidert i den øverste delen av lageret (i flytelaget) dersom det er delvis anoksiske forhold. Mengden som dannes er dermed avhengig av mengden ammoniakk, størrelsen på flytelaget, eksponeringen av flytelaget mot luft og temperaturen (Berg et al. 2006).

Utslipp fra jord
I likhet med prosessen i lageret, er faktorene som nevnt bestemmende for dannelsen i jord. I tillegg kan også mengden nedbrytbart materiale i jorda være begrensende faktor. Undersøkelser av Sommer et al. (2004) og Sommer et al (2009) tyder på at reduksjon av lett nedbrytbart organisk materiale og/eller reduksjon av gjødslas viskositet reduserer produksjonen av lystgass. På den andre siden har undersøkelser fra Sverige (Pell, 2009) konkludert med at den økte ammonium-mengden i biogassbehandlet gjødsel vil føre til økt lystgass-produksjon. Dette forutsetter at det er nok organisk materiale i jorda til at nedbrytningen kan skje.

Ammoniakk
Ammoniakk er ikke en direkte klimagass, men litt av ammoniakken kan i atmosfæren bli oksidert til lystgass ved hjelp av sollys. Dersom biogassbehandling av gjødsel fører til økt utnytting av nitrogenet, vil en annen effekt være reduksjon av mineralsk nitrogen. Dette kan da føre til redusert utslipp til luft og vann av nitrogen i husdyrgjødsel. Det er lite dokumentert hvordan bruken av biogassbehandlet gjødsel vil kunne influere på utslippene. En annen, mer direkte virkning av biogassbehandling er reduserte utslipp fra lager. Biogassbehandlet gjødsel må lagres gasstett, noe som vil medføre lavere utslipp, og derav mer gjenværende nitrogen i gjødsla ved spredning. Biogassbehandlet gjødsel vil ha andre egenskaper enn ubehandlet gjødsel, både mht. viskositet og pH. Lavere viskositet vil medføre lettere infiltrasjon og reduserte utslipp, mens økt pH vil virke motsatt. Det synes derfor at man i andre land er noe uenig i hvilke krav man bør sette til spredeteknikk.

Modellverktøy for estimering av klimaeffekt

Analyseverktøy er nødvendig for å dokumentere netto klimagassutslipp med henblikk på hva som kan "spares" gjennom bruk av biogass fra gjødsel og avfall. Et slikt verktøy vil også være egnet ved vurdering av nødvendige tiltak for hvordan målet om reduksjon i klimagassutslipp fastsatt i St.melding 39 (2009-10) om Klimatiltak i Landbruket kan nås på en mest mulig effektiv og miljønyttig måte. Det er tidligere utviklet en slik modell som tar for seg beregning av netto klimagassutslipp for behandling av våtorganisk avfall (Raadal et al., 2009a). Denne modellen vil være et godt utgangspunkt for å vurdere klimagassutslipp gjennom hele verdikjeden for våtorganisk avfall og gjødsel.

Det er nødvendig å kartlegge utslipp fra dagens løsning i landbruket (der gjødselen ikke utnyttes til biogass) for å kunne beregne gevinsten ved å begynne å bruke gjødselen som en biogassressurs. Dette er viktig for å kunne dokumentere hvordan en best oppnår målene om reduksjon av klimagassutslipp i St. melding 39.

6.2 Forskningsbehov

Med bakgrunn i ovennevnte problembeskrivelse presenteres følgende oppgaver:

- Utslipp av metan, lystgass og ammoniakk fra husdyrrom, lager og felt
- Utslipp av lystgass fra jord gjødslet med biogassbehandlet husdyrgjødsel, ubehandlet husdyrgjødsel, mineralgjødsel og biogassbehandlet matavfall. Eksperimentelt er dette en krevende oppgave siden regn, sol og temperatur, ved siden av jordtype og dreneringsforhold er av stor betydning helt ned til mikronivå. Dette krever et relativt omfattende forsøksomfang for å kunne ha statistisk holdbare resultater.
- Undersøkelse av virkningen av økt nitrogenutnytting av ammoniakk på avrenning av nitrogen.
- Utslipp og utnytting av nitrogen ved ulike spredeteknikker for både ikke behandlet og behandlet gjødsel.
- Utvikle av analyseverktøy for å vurdere den totale klimaeffekten av hele kjen av prosesser produksjon av avfall, innsamlingssystemer, behandlingsløsninger, til distribusjon av gass og biorest

7. Sentralisert biogassanlegg som innovasjonsprosess

Et casestudium av Ørland

Problemstilling

Diskusjonen om forskningsutfordringer knyttet til etablering av sentraliserte biogassanlegg er basert på et casestudium av arbeidet med å etablere en sentralisert biogassanlegg på Ørland i Sør-Trøndelag. Da studiet ble gjennomført høsten 2009 var fabrikken ikke satt opp, og det var heller ikke tatt endelig avgjørelse om hvorvidt fabrikk faktisk skulle bygges. Det var imidlertid gjort et stort stykke arbeid der mange aktører hadde vært - og fortsatt er - involvert i planlegging og kartlegging av forutsetninger for sentralisert biogassfabrikk på Ørland. Dette studiet er således basert på en analyse av det *forberedende* arbeidet med å realisere fabrikk. Spørsmålet denne gjennomgangen munner ut i er: *Hvilke utfordringer ser vi på temaet etablering av sentralisert biogassanlegg fra et innovasjons- og organisasjonsperspektiv*?

Forskningsprosjektet og datamateriale

Studiet er en del av prosjektet "Biogass Trøndelag. Helhetlig og lokalt tilpasset design av Biogassanlegg" finansiert av Norges Forskningsråd (RENERGI-programmet) og organisert som et brukerstyrt innovasjonsprosjekt ledet av Fosen Næringshage. Analysen er basert på flere datakilder. Hovedkilden er kvalitative dybdeintervju og samtaler med til sammen 13 utvalgte personer som ble vurdert å inneha kritiske roller i forhold til realiseringen av biogassprosjektet (strategisk utvalg). Utvalget består av representanter for råvareleverandører til biogassanlegget (lokale bønder), eiere av anlegget (Fosenkraft AS og bondesamvirket Biogass Fosen SA), lokal næringsforening (Fosen Næringshage), lokale myndigheter (Ørland Kommune) og regionale myndigheter (Sør-Trøndelag Fylkeskommune, Fylkesmannen i Sør-Trøndelag og Innovasjon Norge).

I tillegg til intervjuene består datamaterialet av bakgrunnsdokumenter (Energi og miljøplan for Ørland Kommune 2007-2010, konsulentselskapet ECgroups analyse av biogassprosjektet, Fosen Næringshages egenanalyse/presentasjon av biogassprosjektet og St.melding 39: Klimautfordringen – landbruket en del av løsningen), løpende kontakt med involverte aktører gjennom forskningsprosjektet, og observasjoner under synfaringer og besøk på Ørland.

Om Ørland

Primærnæringer (jordbruk, skogbruk og fiske) utgjør 35 % av næringsvirksomheten i Ørland Kommune. Landbruket står for mellom 50 og 70 % av klimagassutslippene i kommunen. Til sammenligning utgjør primærnæringene 18 % av næringsvirksomheten på nasjonalt nivå, mens landbruket her står for 9 % av klimagassutslippet[7]. At tiltak for å redusere kommunens klimagassutslipp rettes mot landbrukssektoren er således rimelig.

En sentralt biogassanlegg lokalisert på Ørland vil være basert hovedsakelig på husdyrgjødsel levert av bønder i fabrikkens nærområde. Analyser gjennomført av konsulentselskapet ECgroup på oppdrag for Ørland Kommune viser at det er tilgjengelig 50.000 tonn gjødsel per år fra storfebesetninger i Ørland. Av dette kan en bioreaktor generere 1.4 millioner m³ biogass per år med et energiinnhold på 7 GWh[8].

ECgroups analyser tyder videre på at det er gode forutsetninger for etablering av en sentralisert biogassfabrikk på Ørland. ECgroup argumenterer med at: - det er et tett landbruksmiljø med mye gjødsel på et lite område, - det er god tilgang på råmaterialer (husdyrgjødsel, biprodukter fra

[7] Tall hentet fra dokumentet "Energi og miljøplan for Ørland Kommune 2007-2010" og St.melding 39: Klimautfordringen – landbruket en del av løsningen, Landbruks og matdepartementet 2008-2009.
[8] "Biogass Ørland". Presentasjon av Ove Taranger Nesbø, ECgroup AS på Biogass 09, Fosen, 11. mai 2009.

næringsmiddelindustri og matavfall fra storhusholdninger), - det er kunder som kan kjøpe varme, gass og/eller strøm, - det er bønder og kunder som kan benytte bioresten, - det er en aktiv kommune og lokalt energiverk, og - det er vilje og gjennomføringsevne.

Flere av informantene i intervjuundersøkelsen, både lokale aktører involvert i prosjektet og regionale aktører uten eierinteresser i prosjektet, bekrefter at det i lys av forutsetningene i Norge er spesielt godt grunnlag for et sentralisert biogassanlegg basert hovedsakelig på husdyrgjødsel på Ørland. Her blir nettopp det tette landbruksmiljøet med mye råmaterialer og korte avstander trekt frem som en styrke.

Biogass på Ørland

Samtlige av de intervjuede knytter oppstarten av biogassatsingen på Ørland til Svein Lilleengens gründervirksomhet. Tidlig på 90-tallet satte han på eget initiativ opp et gårdsbasert biogassanlegg basert på husdyrgjødsel. Etter hvert som Lilleengen utviklet egen kompetanse på temaet, begynte han å jobbe med å få i gang en mer omfattende biogass-satsing på Ørland, der han mente det var svært gode forutsetninger for et sentralisert biogassanlegg basert på husdyrgjødsel.

Lilleengens gründervirksomhet ble senere koblet med Fosen Næringshages arbeid med nærings-utvikling og spesielt Næringshagens arbeid med Energi- og miljøplan for kommunen på andre halvdel av 2000-tallet. Gjennom Fosen Næringshages systematiske arbeid med biogassprosjektet og Lilleengens entusiasme tas det stadig flere initiativ og et økende antall aktører kobles til prosjektet. Dette skaper stadig mer moment i biogassatsingen. Fosen Næringshage beskriver 2005 som oppstartåret for dette målrettede arbeidet. Fra da av bruker også Næringshagen bærekraftig utvikling som en referanseramme for sitt arbeid. I 2006 oppretter en kontakt med tyske konsulenter på biogass, og biogassprosjektet presenteres og selges inn til FoU-aktører som Bioforsk og SINTEF, Fylkeskommunen i Sør-Trøndelag, lokalt og regionalt bondelag, og det lokale kraftselskapet Fosenkraft. Skisser over prosjektet blir også lagt frem for Landbruksdepartementet og ENOVA, og Fosen Næringshage får prosjektledelsen for arbeidet med Energi og miljøplan for kommunen.

I 2007 arrangeres studietur til Tyskland for sentrale interessenter, arbeidet med å organisere bøndene som råvareleverandører og deleiere av fabrikken igangsettes, og Energi og miljøplan for kommunen ferdigstilles – et arbeid som kommunen samme år mottar Fylkesmannes miljøpris for. I 2008 avsluttes ECgroups forstudie på oppdrag av Fosenkraft, og et forskningsprosjekt med NTNU, SINTEF og FoU-selskapet MiSA bevilges midler fra Norges Forskningsråd.

I 2009 legges Stortingsmelding 39 frem og mål for den nasjonale satsingen på biogass skisseres, bøndene som skal levere råvarer til anlegget konstituerer seg ytterligere og samvirket Biogass Fosen S/A med 58 medlemmer blir etablert, de fremtidige eierne av biogassanlegg (Biogass Fosen S/A og Fosenkraft AS) konstituerer seg gjennom etableringen av selskapet AgroEnergi AS, og Fosen Næringshage arrangerer nasjonal konferanse om biogass på Ørland. Senere samme år mottar Ørland Kommune i samarbeid med tre andre trøndelagskommuner økonomisk støtte fra Statens Landbruksforvaltning til et prosjekt på logistikkutfordringer ved sentrale biogassanlegg, det blir søkt ENOVA om investeringsstøtte til biogassfabrikk – noe en får avslag på og oppfordring om å søke på nytt tidlig i 2010, og nøkkelaktører i biogassatsingen gjennomfører et møte med landbruksministeren om prosjektet tett opp mot årsskiftet.

Ved utgangen av 2009 foreligger det planer om å søke ENOVA om investeringsstøtte på nytt, logistikkprosjektet og forskningsprosjektet i regi av SINTEF/MiSA/NTNU går sin gang, en jobber videre for å påvirke de økonomiske rammevilkårene for biogass og en har store forventninger til hvilke virkemidler regjeringen vil bruke for å realisere målsettingene skissert i Stortingsmelding 39.

Kritiske faktorer for biogassatsingen

Er prosjektet en suksess?

På Ørland har det blitt jobbet systematisk med etablering av sentralisert biogassanlegg over flere år. Suksesskriterium nr. 1 for de involverte aktørene er etablering av en ferdig og velfungerende biogassfabrikk. Blant lokale interessenter som er intervjuet er det de som gir uttrykk for utålmodighet og skepsis til at en ennå ikke er kommet i gang med byggingen av fabrikk, mens andre,

både lokale interessenter og regionale aktører som ikke er direkte involvert i prosjektet, argumenterer for at dette er trege prosesser som involverer et komplekst nettverk av aktører og beslutningstakere, og at en i lys av dette er kommet langt. Flere argumenterer også for at det meste er på plass lokalt for å realisere biogassfabrikken – grunnen til at fabrikken ikke er bygd ligger på sentralt hold og i manglende politisk vilje og evne til å satse på fornybar energi. Uavhengig av om en definerer biogassprosjektet på Ørland som en suksess eller ei, så er det mye å lære om etablering av sentralisert biogassanlegg fra arbeidet gjort på Ørland.

Nøkkelaktører

Biogassatsingen utgjør etter hvert et komplekst nettverk av aktører som har ulike roller i prosjektet. Samtidig er det også en kjerne i dette nettverket bestående av nøkkelaktører som prøver å koordinere de ulike aktørene og drive prosjektet fremover. Her er det ulike roller som har vært kritiske for prosjektet:

- Gründeren: Svein Lilleengens langsiktige arbeid med å få til en tyngre biogasssatsing på Ørland er helt sentralt for det en har fått til så langt. Med sin erfaring med eget gårdsbaserte biogassanlegg og omfattende foredragsvirksomhet er han blitt en nasjonal kapasitet på praktisk tilrettelegging for biogassproduksjon, og således en unik ressurs for biogass-satsingen på Ørland.
- Tilretteleggeren: Fosen Næringshage er den som har koordinert prosjektet de siste årene. Næringshagens eierskap har gitt biogassprosjektet tilgang til Næringshagens nettverk, ressursbase og systematikk. Koblingen til Næringshagen og dens arbeidet med Miljø og energiplan for kommunen har også sikret at biogass-satsingen er satt i lys av kommunens øvrige energisatsing.
- Lokale eiere: Prosjektet har etter hvert fått lokale eiere. Fosenkraft er det lokale energiselskapet som leverer elektrisk kraft og som eier og drifter el. nettet. Bøndene som råvareleverandører til anlegget og mottakere av biorest, har organisert seg i samvirket Biogas Fosen SA der det er til sammen 58 andelshavere. Fosenkraft og Biogass Fosen SA har etablert selskapet Agro Energi AS som skal eie biogassfabrikken.
- Den eksterne pådriveren: Konsulentselskapet ECgroup har sett prosjektet utenfra og i lys av lignende prosjekt, og kommet med innspill på bestilling.
- Den utålmodige kapitalisten: I den grad det er roller som mangler er en av dem den utålmodige kapitalisten som tvinger prosjektet fremover. Forklaringen på denne aktørens fravær er manglende utsikter til profitt ut fra det som er dagens rammevilkår for biogassproduksjon.

Kritiske hendelser

De intervjuede trekker frem flere hendelser som kritiske for at prosjektet er kommet så langt som det er i dag:

- Tålmodig entusiasme: Lilleengens initiativ og tålmodige entusiasme representerer såkornet og kontinuiteten i prosjektet.
- Miljø og energiplan: Miljø og energiplanen og ikke minst prosessen frem til ferdig plan er beskrevet som sentral som viktig for biogass-satsingen. Planen er med på å gi biogassatsingen legitimitet og relaterer prosjektet til kommunens overordnede energispørsmål. Det at planen mottok Fylkesmannen miljøpris er med på å gi den ytterligere tyngde og autoritet.
- Biomobilisering: Flere informanter sier de var overrasket over oppslutningen for prosjektet blant bøndene. Initiativtakerne blant bøndene gir uttrykk for at de forventet langt mindre interesse for prosjektet enn det de 58 medlemmene i samvirket tilsier.
- Storkundeusikkerhet: Flyplassen på Ørland og Forsvaret er definert som en framtidig storkunde for en biogassfabrikk. Flyplassen er Ørlands største arbeidsplass og med sine varme- og energibehov og beliggenheten i forhold til en framtidig biogassfabrikk er den en

sentral faktor i forhold til biogass-satsingen. Usikkerhet rundt spørsmålet om Ørland får status som fremtidig hovedflyplass har gjort at Forsvaret ikke har villet inngå avtaler på kjøp av varme og energi. Manglende avklaring på kundesiden har vært en faktor som har hemmet realisering av biogassfabrikk så langt.

- Økonomiske støtteordninger: Prosjektet har etter hvert mottatt økonomisk støtte fra diverse aktører, noe som har vært med på å drive det fremover. Eksempler her er midler fra Innovasjon Norge til forstudier, innvilgelse av midler til forskningsprosjekt fra Norges Forskningsråd og støtte til logistikkprosjekt fra Statens Landbruksforvaltning.
- Stemningsbølge: Prosjektet har også nytt godt av det stadig økende fokuset på problemene knyttet til bruken av fossil energi i samfunnet.

Lokalt eierskap
Biogassprosjektet har vært et lokalt initiativ. Prosjektet har også hatt lokalt eierskap gjennom at lokale politikere har engasjert seg og stimulert det lokale energiselskapet til å komme på banen og inn på eiersiden, og gjennom bøndenes entusiasme for prosjektet. Mange understreker viktigheten av at lokale krefter står bak og er engasjerte i prosjektet.

Medieprofil
På tross av at det ikke er satt opp fabrikk og det heller ikke er tatt avgjørelse om bygging, har biogassprosjektet på Ørland fått stor medieoppmerksomhet. Oppslagene har vært overveiende positive og knyttet til utviklingen i prosjektet, den nasjonale biogasskonferansen som Næringshagen var ansvarlig for og ikke minst Svein Lilleengen som er biogassatsingens ansikt utad. Medieomtalen har vært med å skape entusiasme, spesielt lokalt, men også utenfor Ørland. Flere informanter argumenterer for at i lys av all den positive omtalen og regjeringens offensive holdning om at 30 prosent av husdyrgjødsla skal gå til biogassproduksjon innen 2020, er det vanskelig å se for seg at en ikke skal få til et biogassanlegg på Ørland.

Profileringsgevinst
Biogassatsingen har gitt flere av de involverte aktørene positiv profilering. For Ørland som kommune og Næringshagen er dette knyttet til stedsutvikling og lokal identitet. For eierne, Fosenkraft og bondesamvirket (Biogass Fosen SA), handler prosjektet om å fremstå som innovative og i front.

Forskningens rolle
Flere aktører er tydelige på at koblingen til etablerte forskningsinstitusjoner er med på å gi prosjektet legitimitet og autoritet. Forskningsmiljøene er således sett på som en av mange aktører som er med på å gi prosjektet drahjelp.

<u>Noen utfordringer</u>
Basert på studiet av Ørland, hvilke utfordringer ser vi på temaet etablering av sentralisert biogassanlegg?

Rammevilkår
Lønnsomheten i sentraliserte biogassanlegg er i beste fall usikker med dagens rammevilkår. Realisering av regjeringens målsetting om at 30 prosent av husdyrgjødsla skal brukes til biogassproduksjon innen 2020 krever enten støtteordninger eller forbedringer i teknologien som gjør den billigere og mer effektiv. En utfordring i så måte er å kartlegge hvilke økonomiske støtteordninger som må til for å gjøre biogassproduksjon bedriftsøkonomisk lønnsom, for på den måten å tiltrekke seg nødvendig kapital, og for å gi forutsigbarhet for de som vil investere i anlegg.

Pilotanlegg vs. kommersielt anlegg
Fra myndighetshold er det antydet at en vil etablere noen pilotanlegg på ulike steder for å lære mer om biogassanlegg under norske forhold. Mens et pilotanlegg krever fleksible løsninger med rom for prøving og eksperimentering, vil et kommersielt anlegg være skreddersydd for økonomisk gunstige løsninger. Det trengs imidlertid mer kunnskap om hva skillet mellom et pilotanlegg og et kommersielt anlegg er, og hva implikasjonene av disse skillene er.

Samfunnsøkonomisk vs. bedriftsøkonomisk lønnsomhet
Produksjon av biogass er sagt å være samfunnsøkonomisk lønnsomt siden det bidrar til reduserte utslipp av klimagasser. Samtidig er det ikke bedriftsøkonomisk lønnsomt hvis gassen for eksempel går til produksjon av elektrisitet. En forskningsutfordring er å klargjøre hvordan det kan settes en pris på klimagevinsten slik at biogass blir bedriftsøkonomisk lønnsomt. En del av en slik diskusjon er spørsmål om en skal og hvordan en kan harmonisere norske priser på elektrisitet med europeiske priser.

Nye relasjoner/konstellasjoner
Biogassproduksjon innebærer samarbeid og nye konstellasjoner mellom aktører som historisk sett ikke har hatt mye med hverandre å gjøre. Forskningsutfordringen her er å kartlegge grunnlaget for samarbeid mellom disse aktørene. Eksempel på slike aktører er energiselskap, bønder og bøndenes organisasjoner, og renovasjonsselskap.

Bøndenes organisering
Bønder er selvstendig næringsdrivende og har lange tradisjoner for autonomi. Samtidig har de også lange tradisjoner for kollektiv organisering gjennom samvirkeforetak. Hvordan kan særtrekk ved bønder som autonomi og organiseringskompetanse, brukes i forhold til biogassproduksjon?

Nivåutfordring og aktørkompleksitet
Studiet av Ørland viser at realiseringen av biogassanlegg ikke bare handler om lokale forhold, men også inkluderer regionalt virkemiddelapparat og sentrale premissleverandører. For nøkkelaktørene på Ørland har innovasjonsprosjektet handlet om å påvirke alle disse tre nivåene og å bevege seg mellom dem. En forskningsutfordring i så måte er å analysere hvordan innovasjonsprosesser handler om det å påvirke flere nivå av premissleverandører samtidig (lokalt, regionalt og sentralt nivå), og å bygge opp og lede komplekse nettverk av aktører om på ulikt vis bidrar til å påvirke de ulike premissleverandørene for biogassanlegg.

Ny næringsvirksomhet for bønder
Biogassproduksjon innebærer en ny tilleggsnæring for bønder. Hvilke nye former for kompetanse krever denne virksomheten? Hvordan kan eksisterende kompetanse nyttes i denne nye virksomheten?

Eiere av biogassanlegg
Hvem bør eie biogassanlegg? Råvareleverandører (bønder, andre aktører som produserer organisk avfall som for eksempel fiskeoppdrettsanlegg)? Energiprodusenter og -leverandører? Drivstoff-produsenter? Renovasjonsselskap? Andre?

Drivkrefter for biogassanlegg
Som vist er det vanskelig per i dag å få til lønnsom biogassproduksjon. Slike prosjekter trekker derfor ikke til seg aktører som driver næringsutvikling ut fra et profittmotiv. Hvilke aktører vil da være naturlige drivkrefter for fremvekst ev biogassanlegg? Skal dette være en kommunal oppgave siden slike anlegg er samfunnsøkonomisk lønnsomme heller enn bedriftsøkonomisk lønnsomme? Hvordan kan naturlige interessenter som råvareleverandører og kraftprodusenter stimuleres til biogassproduksjon så lenge utsiktene til lønnsom drift er uklare? Hvilke andre drivkrefter enn utsikter til lønnsom drift kan stimulere til biogassproduksjon?

8. Rammebetingelser og virkemidler for stimulering av biogass utbygging

8.1 Bakgrunn og problemstillinger

Norges har i energi- og klimapolitikken i hovedsak tilsluttet seg EUs politikk på området. Det betyr blant annet en mål og virkemiddelpolitikk som er oppdelt i to. Den ene delen består av en målsetning for reduksjon av utslipp for større energiintensive virksomheter (f. eks. prosessindustri og raffinering) hvor målet skal nåes gjennom et system hvor utslippstillatelsene er omsettbare innenfor et kvoteområde. Den andre delen består av en forpliktelse til minst å redusere utslippene av klimagasser med et visst prosentmål innenfor den såkalte ikke-kvotesektoren som hovedsakelig består av transport, jordbruk, avfallshåndtering og oppvarming i bygninger og hjem.

Det er vesentlig sine reduksjonsforpliktelser i ikke-kvotesektoren som ligger til grunn for at regjeringen finner det samfunnsøkonomisk lønnsomt å bruke husdyrgjødsel og matavfall til produksjon av biogass. I St.meld. nr. 39 (2008 -2009), Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen, sies det at biogass er det tiltaket som har størst potensial innenfor landbrukssektoren. Biogassproduksjon basert på husdyrgjødsel og matavfall vil kunne gi en dobbel klimaeffekt ved at det bidrar til redusert utslipp av klimagassene metan og lystgass, samtidig som en kan få produsert klimanøytral energi fra gassen i form av varme, drivstoff og elektrisitet.

Regjeringen har som mål at innen 2020 bør 30 % av husdyrgjødsla brukes til biogass. Hvis denne gjødselmengden behandles sammen med 600 000 tonn matavfall, kan en oppnå en utslippsreduksjon på 0,5 mill. tonn CO2-ekvivalenter innen 2020. For å nå denne målsetningen må myndighetene gripe inn. Slik det er i dag er det ingen incentiver som driver fram utbygging av anlegg for biogassproduksjon i landbrukssektoren. I avfallssektoren har biogassproduksjon basert på avløpsslam og matavfall fått et visst omfang. Årsaken er blant annet et forbud (fra 1. juli 2009) mot å deponere nedbrytbart avfall, samt at den andelen av avfallet som allikevel deponeres på grunn av muligheten for dispensasjon fra forbudet blir avgiftbelagt. Men det må også taes i betraktning at hadde det ikke vært slik at avfallsanleggene har sin viktigste inntekt knyttet til avgifter som blir betalt av husholdningene for mottak og behandling av avløpsvann og avfall hadde ikke slike anlegg vært levedyktige.

Økonomisk litteratur om bruken av virkemidler i klimapolitikken har som regel fokus på at aktørene i økonomien produserer velferdsgoder med den bivirkningen at produksjonen også fører til utslipp av klimagasser. Myndighetene kan forbedre velferden ved å redusere de skadelige utslippene ved hjelp av for eksempel avgifter eller kvoter. På denne måten vil produsentene få økonomiske incentiver til å investere i den typen teknologi som brukes til å redusere utslipp. I biogassprosjekter er ikke bare teknologien men også utgangspunktet noe forskjellig idet det er ønskelig med en så stor produksjon som mulig. Ikke bare fordi biogassen er en klimanøytral, konsentrert og lett anvendbar energibærer, men fordi produksjonsprosessen gjør bruk av innsatsfaktorer som, når de blir brukt, fører til en netto reduksjon av utslipp av klimagassene metan og lystgass. Dette er gasser som ellers ville ha lekket ut fra lagringen av husdyrgjødsel og deponert matavfall.

Et vesentlig spørsmål er hvordan det skal legges til rette for at alle ledd i produksjonskjeden skal bli bedriftsøkonomisk lønnsomme slik at beslutninger desentraliseres. Det er også viktig at tilgangen av entreprenører, investorer og kommunale initiativ blir stimulert. Videre trengs arenaer for kommunikasjon og det trengs stimulanser for godt samarbeide mellom aktører. På flere steder i denne rapporten pekes det på behovet for rene forskningsprosjekter for teknologiutvikling, for brukerstyrte innovasjonsprosjekter (utvikling av pilotanlegg) og for andre tiltak som øker og støtter kompetanse, erfaring og informasjon. Energiøkonomisk nytte og kostnad for ulike løsninger må også bli vurdert. For eksempel, behandling av husdyrgjødsel sammen med matavfall, fiskeavfall og annet organisk avfall vil kunne øke effektiviteten i biogassproduksjonen betydelig (Østlandsforskning,

2007). Men det å øke sambehandlingen må avveies mot at det medfører mer transport av biomasse og biorest.

Når det gjelder finansiering til bygging av konvensjonelle anlegg og til utvikling av pilotanlegg kan investeringstøtte og prosjektstøtte være aktuell politikk. Spørsmålet er på hvilken måte myndighetene kan sette krav til anleggenes effektivitet slik at biogassproduksjonen blir størst mulig pr. enhet støtte, og hvordan de skal kunne gi mest støtte til de som er mest effektive. Andre virkemidler kan være aktuelle i de tilfellene hvor det er behov for finansiering av forskningsprosjekter for utviklingen av prosesser og teknikker som er patenterbare. Det at innovatørene patenterer teknologien betyr at de får monopol på salg av teknologien til andre i bransjen. Ulempen med dette er at prisen kan bli høy som igjen kan føre til mindre spredning av teknologien. Alternativt kan for eksempel myndighetene kjøpe oppfinnelsen og gjøre teknologen offentlig tilgjengelig til kostpris. (se Berglann, 2008, for en oversikt)

Etter teorien er bruken av ett virkemiddel (det mest effektive virkemiddelet) pr. målsetting det valget som gir en mest effektiv politikk. I landbrukspolitikken kan hensynet til andre politiske mål enn bare å øke biogassproduksjonen gjøre valget av en slik multippel virkemiddelbruk aktuell. Men det er også spørsmål knyttet til hvilke nivåer som virkemidlene skal rette seg mot. Skal det være leverandørene av biomasse (bonde/skogeier), mot produksjonsleddet eller mot forbruket av biogass, eller må alle nivå inkluderes. Dessuten, vil det være slik at det er behov for ulike virkemidler for ulike biomassetyper (våtorganisk avfall, avløpsslam, husdyrgjødsel, energivekster o.l.)? Ut fra distriktspolitiske hensyn kan det for eksempel også være aktuelt å innføre ulike, eller gradere bruken av, virkemidler i husdyrtette områder i forhold til områder med spredt husdyrproduksjon. Hensynet til leveringssikkerhet for energi kan tale for at det utformes virkemidler som er geografisk differensiert. I områder med svak eller sårbar leveringssituasjon for elektrisk strøm, kan det for eksempel være aktuelt med virkemidler som i større grad kan medvirke til bruk av husdyrgjødsel til biogassproduksjon. Bruk av biomasse fra landbruket til biogassproduksjon medfører mange utfordringer med hensyn til transport, lagring før og etter biogassproduksjon, avtaler mellom bonde og biogassfabrikk om levering, transport og spredning, økonomisk kompensasjon osv. For å stimulere til bruk av varmen fra biogassproduksjonen vil det også på dette området være behov for en pakke med virkemidler.

Det som gjerne er typisk i evolusjonen av et sett av ordninger er at ett og ett virkemiddel blir tatt i bruk etter hvert som behovene melder seg. På denne måten kan regelverket fort bli veldig komplekst. Dessuten viser Bruvoll og Dalen (2008), ved å gå igjennom norsk klima- og energipolitikk, at utviklingen kan ende opp med at mange virkemidler blir konsentrert rundt et fåtall mål. En av grunnene til dette er at politikere ofte forsøker å unngå politiske konflikter, og da kan det føles bedre å sette inn et middel til mot det samme målet enn å ta belastningen det er å endre et virkemiddel som kanskje er vedtatt av andre. Dette kan føre til store administrasjonskostnader, at totaleffekten for politikkmålene blir usikker og at avvikene mellom økonomisk teori og politisk praksis blir store.

Sammenlignet med det som trengs av virkemidler for å regulere klimagassutslipp virker det som at mange flere virkemidler kan bli nødvendig for å skape incentiv til bruk og produksjon av biogass. Det er ikke sikkert at forskjellen vil bli så stor hvis de ulike virkemidlene kan samordnes med hensyn på å forenkle regelverket. En indikasjon på at dette gjøres på en god måte, er at prinsippene for reguleringen forblir de samme for hvert enkelt ledd i produksjonskjeden. Det kunne for eksempel skje ved å ta hensyn til at jordbrukssektoren etter hvert kan komme til å gå inn som en del av kvote-sektoren. I tillegg til det å bygge opp markedet og infrastrukturen for bearbeidingen av råstoffet kan da oppgaven i mellomtiden være å fase inn klimapolitikken i jordbruket med hensyn på at overgangen til et nytt regime ikke skal bli for sjokkartet. I forhold til den ellers ganske vanskelige oppgaven det er å måle klimagassutslipp fra landbrukssektoren, kan det være relativt sikker målemetode å beregne reduksjonen i klimagassutslipp fra hver enkelt aktør gjennom hva de enkeltvis leverer av råstoff til biogassproduksjon.

8.2 Forsknings- og utredningsbehov

Med bakgrunn i de problemstillingene som er beskrevet ovenfor vil følgende forsknings- og utredningsprosjekter være aktuelle

- Kartlegging av status quo i bruken av virkemidler og erfaringen med dem i land som Sverige, Danmark og Tyskland.
- Kartlegging av status quo og erfaring i Norge med hensyn til virkemiddelbruken.
- Utarbeidelse av et teoretisk grunnlag for hvordan de ulike virkemidlene vil kunne fungere i biogassindustrien.
- Analyse om i hvilken grad de virkemidlene som er i praktisk bruk samsvarer med anbefalinger fra økonomisk teori.
- Utarbeidelse av anbefalinger om hvilke virkemiddelpakker som kan være aktuelle i Norge.
- Innsamling av data og evaluering av virkemiddelpakker i etterkant.

9. Nordisk samarbeid

Det er allerede etablert en del samarbeid mellom fagmiljøer i de nordiske land innen biogass, men dette bør utvikles videre. Norden har mye felles utfordringer på dette området, og et nordisk samarbeid ansses derfor som særlig verdifullt.

Viktige miljøer i Norden er:

Sveriges lantbruksuniversitet –SLU (i Uppsala og Alnarp ved Lund) Viktige arbeidsområder er biogassprosesser og tilpasninger til høye ammoniakk-konsentrasjoner. Populasjonsanalyser og isolering av forskjellige mikroorganismer som dltar i biogassprosessen. Gjødselforsøk med bruk av biorest. Deltar i EU-prosjektet Agrobiogas.

Lunds tekniska högskole (LTH) Lavtemperatur biogassprosesser, gårdsbasert biogass, systemstudier – mikrobiologiskklarakterisering, biogass fra energivekster, bl.a. i samarbeidmed SLU ved Alnarp.

Linköpings universitet (LTU) som jobber med prosessforbedringer med ulike substratblandinger og poulasjonsstudier av mikroorganismer.

Luleå's tekniske universitet (LTU) som driver med forbehandling og oppgradering av biogass og biogass til el og varme.

Institutt för jordbruks- och miljöteknik (JTI) i Uppsala Utredninger om ulike substrater for biogassproduksjon, gårdsbaserte biogassanlegg, spredning av biorest, produksjonspotensialer. Ansvarlige for Bioenergiportalen (www.bioenergiportalen.se) på internett.

Borås högskola jobber spesielt med forbehandling av celluloserikt materiale, f.eks. tekstilavfall.

Avfall Sverige jobber spesielt med biogassbehandling av matavfall, innklusive forbehandling og anvendelse av biorest med bl.a. sertifiseringssytem for biorest i samarbeid med SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

I Danmark kan man trekke fram:

Universitetet i Århus som blant annet omfatter biogass forsøksanlegget ved Foulum. Her disponerer man en rekke biogass reaktorer i pilotskala. Spesiell vekt på biogassbehandling av husdyrgjødsel og energivekster, også biogass i økologisklandbruk.

Universitetet i Ålborg som jobber med biogass innen en rekke områder, bl.a. utvikling av metodikk for on line analyse av viktige forsøksparametere.

Danmarks Tekniske Universitetet i Lyngby har lang erfaring med alle sider ved biogassprosesser, med stor vekt på mikrobiologi og prosess.

Det må ellers presiseres at det er miljøer i Finland og en rekke sterke fagmiljøer i Tyskland, Nederland og Østerrike, men også ellers i Europa, for eksempel i Italia.

For øvrig finnes omfattende forskningssamarbeid omkring biogass fra landbruket internasjonalt. Særling pekes på prosjektet AGROBIOGAS (www.agrobiogas.eu) som ble gjennomført under EUs 6 rammeprogram. I følge prosjektet forventes sambehandling av avfallsfraksjoner i landbruket å gi et løft i effektiviteten av biogassproduksjon.

10. Oppsummering forskningstema biogass

Utredning av kunnskapsstatus og forskningsbehov knyttet til biogass i landbruket ble presentert i Forskningsrådet den 28. januar 2010. Nedenfor følger en oppsummering av forskningsbehovene som ble identifisert gjennom utredningen. Oppsummeringen er revidert etter innspill fra møtet i Forskningsrådet.

For å nå målet om redusert drivhusgassutslipp tilsvarende 0,5 millioner tonn CO2-ekvivalenter innen 2020 påpekes nødvendigheten av å etablere ny kunnskap med tverrfaglig overbygning. Kommende forskning må naturligvis bygge på eksisterende kunnskap i nasjonale og internasjonale fagmiljø, herunder erfaringer fra vann- og avløpsbransjen.

De ulike temaene som rapporten dekker er i en viss grad behandlet separat. Som i mange andre sammenhenger vil utvikling av biogass avhenge av kompetanse og kunnskap på flere områder langs en verdikjede som omfatter mange interesser og fagområder. Det kan derfor være hensiktsmessig å dele kjeden inn i ulike deler, samtidig som det er fokus på hvordan kjedens ulike ledd henger sammen.

Råvarer og forbehandling

Biomasse som vurderes som råvarer for biogassproduksjon vil kunne variere i stor grad. Variasjonen skyldes blant annet ulikheter i opphav og kompleksitet. Råvarenes sammensetning og kvalitet vil påvirke biogassprosessen. For at prosessen skal styres forutsigbart og optimalt er det nødvendig å kjenne råvarenes kvalitative sammensetning. Det er forskningsbehov knyttet til å utvide råvarespekteret, forbehandling og råvareblandinger for å øke utbyttet av biogass og å sikre forutsigbar kvalitet på bioresten.

Prosessteknologi

De biologiske prosessene som omdanner organisk materiale til biogass er godt kjent. Det er likevel knyttet utfordringer til effektivitet og grunnleggende forståelse av det økologiske samspillet i biogassprosesser, både i gårdsanlegg og sentrale anlegg. Det er nødvendig å forstå samspillet mellom råstoffkvalitet, gassutbytte og kvalitet på den produserte gjødselvaren. Kvantifisering av prosessens effektivitet og robusthet er nøkkelfaktorer for å bidra til målet om økt biogassproduksjon i landbruket. Det er også forskningsbehov knyttet til utvikling av de teknologiske løsningene som skal sikre helårig biogassproduksjon i Norge.

En vesentlig drivkraft for biogass i landbruket er å bidra til reduserte utslipp av drivhusgasser. I denne forbindelsen er det behov for prosessovervåkning som bidrar til å forbedre grunnlaget for utslippsregnskapet mht klimagasser i jordbruket generelt og biogass spesielt. Forskningsbehovet er videre knyttet til at det er behov for mer kunnskap og verifikasjon av klimaeffekten av tiltaket.

Produkt

Biogass kan foredles til varme, elektrisitet og drivstoff. Ulike bruksområder stiller forskjellige krav til gassens renhet samtidig øker kompleksiteten, kapital og driftskostnader når foredlingsgraden økes. Det er forskningsbehov knyttet til forenkling av gassrensing samt oppgradering til biometan som erstatter naturgass i pipeline eller som drivstoff. Omfattende forskning er nødvendig før katalytisk oppgradering til flytende drivstoff.

Produkter laget av biorest må oppfylle gjeldende myndighetskrav. Det er knyttet forskningsbehov til løsninger for økt resirkulering av næringsressursene i biorest, mulig anvendelsesområder og gjødselvarens effekter på jordkvalitet. Videre er det behov for å utvikle strategier for effektiv resirkulering av biorest til ny planteproduksjon.

Marked

Biogasskjeden er knyttet til markeder for råvarer, prosess og produkter. Det er behov for identifisering, kvantifisering og vurdering av markedenes størrelse, betalingsvillighet og stabilitet.

Bærekraft langs hele kjeden

Langs hele kjeden av forskningstema ligger det utfordringer knyttet til logistikk, virkningsgrad, klimagassregnskap, miljøeffekter og samfunns- og bedriftsøkonomi. Alt dette som grunnlag for å vurdere potensial for forretningsutvikling og miljøeffekter, men også for å etablere effektive virkemidler som kan bringe utviklingen i ønsket retning. Det er behov for forskning som kvantifiserer logistiske, økonomiske og miljømessige effekter av biogassproduksjon. I sum kan dette beskrives som bærekraft, og alle forslag til biologiske og tekniske løsninger må følges opp av bærekraftanalyser, gjerne med LCA som et verktøy. Klimagassregnskapet vil være et svært viktig kriterium ved valg av biologiske og tekniske løsninger og ved etablering av virkemidler.

Referanser

Andersen, U. 2008. Veksthusforsøk med ulike organiske gjødselprodukter i bygg. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for plante- og miljøvitenskap, Masteroppgave 30 stp., 60 s.

Angelidaki, I., L. Ellegaard og B. Ahring, 2003. Applications of the anaerobic digestion process. I: "Biomethantion II", red. Birgitte K. Ahring, Advances in Biochemical engineering/Biotechnology 82, ISBN 3-540-44321-5

Bauer A, Bösch P, Friedl A, Amon A (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(1), 50-55.

Berg, W., Brunsch, R. & Pazsiczki, I. (2006). Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. Agriculture, Ecosystems & Environment, 112 (2-3): 129-134.

Berglann, H. Patenter i modeller med teknologisk vekst – en litteraturoversikt med vekt på klimapolitikk*", Samfunnsøkonomen nr. 4 2008

Berglund, M. & Börjesson, P., 2003. Energianalys av biogassystem. Lunds Tekniska Högskola. Rapport 44. ISBN 91-88360-63-6, ISSN 1102-3651. 90 s.

Bochmann G et al. (2007) Application of enzymes in anaerobic digestion. Water Science and Technology 56: 29-35

"Bruk av bioenergi i landbruket. Er det lønnsom å bygge gårdsbiogassanlegg, og hvilke fordeler kan bonden og samfunnet oppnå? Rapport fra forprosjekt på Holm gård, Re i Vestfold". Grønn kunnskap, Vol. 9 Nr. 121, Planteforsk.

Bruvoll, A-G og Dalen. H.M., 2008: "Lag på lag i norsk klima- og energipolitikk", Økonomiske analyser 5/2008

Bøen, A. & Grønlund, A. 2008. Phosphorus resources in waste – closing the loop? NJF Report 4(4): 102-106.

Chandra R, et al. (2007). Substrate pretreatment: the key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics? Biofuels 108:67-93.

Cordell, D., Drangert, J.-O. and White, S. 2009. The story of phosphorous: Global food security and food for thought. Global Environ. Change 19: 292-305

Erp, P.J. van & Dijk, T.A. van 1992. Fertilizer value of pig slurries processed by the Promest procedure. Fertilizer Research 32: 61-70.

Haraldsen, T.K. & Børtnes , G. 2009. Virkning på plantevekst og utvaskingsrisiko av ulike typer organisk gjødsel basert på restprodukter. Bioforsk FOKUS 4(2): 48-49.

Hendriks, A.T.W.M., and G. Zeeman. (2009). Pretreatments to enhance the digestability of lignocelluslosic biomass. Bioresource Technology, 100: 10-18

Hoen, H.F., Trømborg, E. og Nilsen, A. (Red) 2007. Klimagasser og bioenergi fra landbruket – kunnskapsstatus og forskningsbehov. UMB rapport 2007.

Karlsen, Å., Øvsthus, I., Rebours, C. og Uhlig, C. 2009. Kilder og ressurser for biogass i Nord-Salten. BioforskRapport 4(139) 2009. ISBN 978-82-17-00560-5.

Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å. & Sæbø, A. 2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil. Ecological Engineering 25: 51-60.

Lantz, Mikael (2004) Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvarme – ekonomi och teknik. Eksamensarbete, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

Lynd LR et al. (2008) How biotech can transform biofuels. Nature Biotechnology 26:169-172.

Monteny, G.-J., Bannink, A. & Chadwick, D. (2006). Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. Agriculture, Ecosystems & Environment, 112 (2-3): 163-170.

Morken, John, Bernt Sørby, Ivar Sørby, Knut Birkeland og Stein Sakshaug (2005)

Mosier N et al. (2005) Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology 96:673-686.

Myrstad, R., Eri, S., Pfeifer, P., Rytter, E., Holmen, A., Fischer–Tropsch synthesis in a microstructured reactor, Catalysis Today 147S (2009)

Nedland, K. T. og Ohr, K. (2010). Utvikling av biogass i Norge – forprosjekt. Foreløpig rapport, Asplan Viak AS, for Avfall Norge. 52 sider.

Ohr, Kristian, Ola Saua Førland og Valborg Ø. Birkenes (2002) Biogass – Energiproduksjon og avfallsbehandling, Asplan Viak, Prosjekt nr. 703012 ORIO-programmet

Persson, M (2006) Rammebetingelser for salg av varme, biogass og drivstoff i Norden – eksempler fra Sverige. Foredrag på Avfall Norge sitt møte om biologisk behandling 27-28. september 2006.

Pell, M. (2009). Personlig meddelelse.

Persson, M. & Wellinger, A., 2006: Biogas upgrading and utilisation. IEA

Raadahl, H.L. 2007. Kartlegging og potensial for biogassressurser i Norge. Østfoldforskning OR.21.07.

Raadahl,H.L., Schakenda, V. & Morken, J. 2008. Potensialstudie for biogass i Norge. Østfoldforskning OR.21.08

Raadal, H.L., Modahl I.S., Lyng, K-A., 2009. Klimaregnskap for avfallshåndtering, Fase I og II. Østfoldforskning OR.18.09

Raadal,H.L, Morken, J., Lileng, K. 2009. E6 som biogassvei fra Göteborg til Oslo. Østfoldforskning OR 03.09.Ramos LP (2003) The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. Quimica Nova 26:863-871.

Reindl, J. 2007. Phosporous removal from wastewater and manure through struvite formation. An annotated bibliography. Internet: http://danedocs.countyofdane.com/webdocs/PDF/lwrd/lakes/-struviteFormation.pdf

Romano RT, Zhang R, Teter S, McGarvey JA (2009) The effect of enzyme addition on anaerobic digestion of Jose Tall Wheat Grass, Bioresource Technology, 100(20), 4564-4571.

RVF 2005. Använding av biogödsel. En rapport från BUS-projektet. RVF-Utveckling 2005: 10. 50 s

Rulkens, W.H.& ten Have, P.J.W. 1994. Central processing of pig manure in the Netherlands. Wat. Sci. Tech. 30(7): 157-165.

Schnürer, A. & Å. Jarvis 2009. Mikrobiologisk handbok för biogasanlägningar. Avfall Sverige Utvecling och Svensk Gastekniskt Center AB. ISSN 1103-4092.

Silva, L., Processing waste with microchannel reactors, Innovation America's Journal of Technology Commercialization, April-May 2009

Sommer, S. G., Petersen, S. O. & Moller, H. B. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 69 (2): 143-154.

Sommer, S. G., Olesen, J. E., Petersen, S. O., Weisbjergz, M. R., Valli, L., Rodhe, L. & Beline, F. (2009). Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones. Global Change Biology, 15 (12): 2825-2837.

SSB, 2009. Personlig meddelelse (Britta Hoem).

Steinhauser, A. & Deublein, D. (2008). Biogas from waste and renewable resources: an introduction. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.

St.meld. nr. 39 (2008-2009). Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen, Landbruks- og matdepartementet.

Teghammar A, Yngvesson J, Lundin M, Taherzadeh MJ, Horváth IS (2010) Pretreatment of paper tube residuals for improved biogas production, Bioresource Technology, 101(4),1206-12.

VKM 2009. Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soils. Vitenskapskomiteen for mattrygghet, 20. august 2009. 208 s.

Vos, J. & van der Putten, P.E.L 2000. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beat, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 87-97.

Ward, AJ,; Hobbs, PJ., Holliman, PJ Jones, DL 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. BIORESOURCE TECHNOLOGY, 99 (17): 7928-7940

Özdemir, E. D., König, A. & Eltrop, L. (2008). Evaluation of biogas and biomass gasification pathways, http://www.mam.gov.tr/bigpower/fullpaperS/05.pdf

Vedlegg: Mandat

Kunnskapsgrunnlagsprosjekt –
Utredning biogass

Bakgrunn:
I Stortingsmelding 39 (2008-2009), Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen, målsetter regjeringen framtidig utnyttelse av biogass fra landbruket. Utnyttelsen av biogass fra husdyrgjødsel kombinert med matavfall skal innen 2020 tilsvare en utslippsreduksjon på 0,5 millioner tonn CO_2 ekvivalenter årlig.

Regjeringen mener at det bør være et mål at 30 prosent av husdyrgjødsla går til biogassproduksjon innen 2020 og da i kombinasjon med 600.000 tonn matavfall. Stortingsmeldingen gir en bred gjennomgang av utfordringene knyttet til biogassproduksjon fra landbruket.

Meldingen påpeker at ressursgrunnlaget i jordbruket er best egnet for lokal småskala biogassproduksjon, eksempelvis i gårdsbaserte biogassreaktorer. I områder med høy husdyrtetthet, kan det imidlertid være ønskelig å samle husdyrgjødsla i større anlegg der behandling av avfall fra andre samfunnssektorer også kan inngå. Det påpekes også at med dagens teknologi og kostnadsbilde antas det som mest lønnsomt at biogassproduksjon skjer i anlegg som også behandler matavfall. Bioresten etter gassifiseringsprosessen er også et produkt av stor verdi og som må utnyttes på en forsvarlig og ressursoptimal måte.

Regjeringen legger opp til å utarbeide en helhetlig virkemiddelpakke for utvikling av biogass, herunder gode helhetsløsninger for håndtering av organisk avfall og husdyrgjødsel, i et organisert samarbeid mellom jordbruk, industri og kommunal sektor.

Økt kunnskap om produksjon, tekniske løsninger, økonomi og samordning på ulike nivåer er en forutsetning for å kunne lykkes med målsettingene. Det er derfor viktig å få belyst hvilke muligheter og begrensninger som er de største i forbindelse med å nå målsettingen om økt utnyttelse av biogass i Norge. En oversikt over utfordringene vil medvirke til lettere å prioritere innsatsområder for forskningen.

Norges Forskningsråd har med denne bakgrunn startet samarbeidet med viktige aktører for å målrette forskningsinnsatsen. Forskningsrådet ønsker derfor en grundig analyse av kunnskapsstatus og FoU-utfordringer knyttet til bruk av biogass fra landbruket. Arbeidet kan betraktes som en påbygging av gjennomgangen på temaet gitt i UMB-rapport 2007 (”Klimagasser og bioenergi fra landbruket – kunnskapsstatus og forskningsbehov).

Formål med utredningen:
Prosjektet skal gjennomgå, med utgangspunkt i eksisterende utredninger og ny kunnskap, muligheter og begrensninger når det gjelder utnyttelse av biogass fra landbruket til energiformål. Behovet for målrettet FoU-innsats skal vektlegges.

Nærmere beskrivelse:
Arbeidet skal beskrive og analysere utfordringene knyttet til både små integrerte anlegg for oppsamling av biogass (gårdsanlegg) og større sentraliserte anlegg (kombinasjonsanlegg, bl. annet med matavfall, slakteriavfall, fiskeavfall, slam) for biogassproduksjon. Det skal vektlegges råstofftilgang, teknologiske utfordringer og teknologifront, logistikk, økonomiske og organisatoriske utfordringer. Vurderinger omkring best egnet sluttbruk av biogassen (transport, oppvarming, el. produksjon) skal gjøres. Det må vektlegges hvilke områder som antas å ha de største FoU-utfordringene og hva disse består i.

Utredningen skal også inneholde vurderinger omkring egnethet, kvalitet, bruk, håndtering og miljøaspekter knyttet til bioresten fra ulike gassifiseringsprosesser og peke på de viktigste FoU-utfordringene. Kunnskapsbehovet rundt klimagasseffektene av de ulike løsningene skal også gjennomgås.

FoU-utfordringene knyttet til nye samarbeidskonstellasjoner mellom primærnæringsbransjer og andre bransjer bør vurderes. Det bør også spesifikt vurderes effekter av utvidet nordisk FoU-samarbeid innen biogassområdet.

Forutsetning:
Viktige bakgrunnsdokumenter er Stortingsmelding 39 (2008-2009), Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen, UMB- rapport 2007 ”Klimagasser og bioenergi fra landbruket – kunnskapsstatus og forskningsbehov Det bør også gjøres greie for relevant internasjonal forsknings- og teknologifront, og mulige samarbeidsmønstre i Skandinavia.