

**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Fakultet for realfag og teknologi  
Seksjon bygg og miljøteknologi

**2017**

ISSN: 1503-9196

REALTEK Rapport 56

# **Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift**

Forfattere:

John Morken, NMBU

Tormod Briseid, NiBio

Jon Hovland, Tel-Tek

Kari-Anne Lyng, Østfoldforskning

Ingvar Kvande, Norsøk

Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.A. og Kvande, I. 2017. **Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift** - REALTEK Rapport versjon 091017, 53 s.

Ås/Oslo, oktober 2017

ISSN: 1503-9196

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Innovasjon Norge

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Guri Hotvedt

FORSIDEBILDE

Foto: John Morken, NMBU

NØKKELORD

Biogass, energipotensial, bruk av gass, klimanytte, regelverk, oppstart og drift av anlegg

KEY WORDS

Biogas, energy potential, use of gas, environmental benefits, regulations, start up and running of plants

John Morken ([johnmo@nmbu.no](mailto:johnmo@nmbu.no)), Tormod Briseid, Jon Hovland, Kari-Anne Lyng og Ingvar Kvande.

Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003, NO-1432 Ås

## Innhold

1. Innledning.....	4
2. Mulighetsstudie.....	4
2.1. Grunnleggende mikrobiologi.....	4
2.1.1. Hvordan skaffer mikroorganismene seg energi? .....	4
2.1.2. De tre trinnene i biogassprosessen .....	4
2.1.3. Miljøbetingelser.....	6
2.2. Aktuelle substrater og blandingsforhold.....	7
2.2.1. Litt teori .....	7
2.2.2. Husdyrgjødsel .....	10
2.2.3. Avfall fra planteproduksjon .....	11
2.2.4. Matavfall.....	11
2.2.5. Fiskeavfall og fiskeensilasje .....	11
2.2.6. Slakteavfall.....	11
2.2.7. Annet .....	11
2.2.8. Avløpsslam.....	12
2.2.9. Blandinger og blandingsforhold. ....	12
2.2.10. Reaktortyper.....	13
2.2.11. Lagring av gass.....	14
2.3. Biorest brukt som gjødsel eller som jordforbedringsmiddel.....	16
2.3.1. Næringssaltene.....	16
2.3.2. Tungmetaller .....	16
2.3.3. Råvarenes betydning for bioresten .....	16
2.3.4. Valg av biogassprosess – betydning for bioresten .....	17
2.4. Hva skal energien brukes til?.....	18
2.5. Oppgradering av biogass .....	19
2.6. Internt energibruk og varmebehov og hvordan minimere det? .....	20
2.7. Miljøregnskap .....	22
2.8. Økonomi .....	26
2.8.1. Gårdsanlegg.....	26
2.8.2. Storskalaanlegg.....	27

3.	Prosjektering.....	28
3.1.	Plassering av reaktorer etc, frostsikring og annet praktisk .....	28
3.2.	Regelverk og tillatelser generelt.....	29
3.2.1.	Mattilsyn.....	29
3.2.1.1.	Gjødselvereforskriften (Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav) .....	29
3.2.1.2.	Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum («Animaliaforskriften» eller «Biproduktforskriften») .....	31
3.2.2.	DSB.....	35
3.2.3.	Plan og bygningslov, kommunale tillatelser .....	35
3.3.	Virkemidler .....	37
3.4.	Når du har bestemt deg: avklaring, forprosjektering, prosjektering og at detaljnivået er deretter med tanke på mulig produksjon, verdikjede for gass og biorest, valg av teknologi, søknader, bygging .....	38
3.5.	Forslag til avtale om mottak av substrater/gjødsel.....	39
3.6.	Forslag til avtaler om levering av biorest .....	41
4.	Drift.....	43
4.1.	Oppstart, stabil drift, vedlikehold.....	43
4.2.	Nødvendige og mulige målinger for å monitorere prosessen.....	44
5.	Biogass/biogassproduksjon – Generelle ord og begreper.....	48
6.	Andre nyttige kilder og forslag til videre lesning.....	51
7.	Litteratur.....	52
	Vedlegg 1 .....	54

## **Forord**

Veilederen er et resultat av et oppdrag Innovasjon Norge har bevilget til institusjonene NIBio, Østfoldforskning, Tel-Tek, Norsøk og NMBU. Disse institusjonene har i fellesskap utført oppdraget. NMBU ved Fakultet for realfag og teknologi har hatt ledelsen av oppdraget. Veilederen er et resultat av Miljøverndepartementets bevilgning over statsbudsjettet i 2015 og 2016 innen "pilotanlegg for biogass" som også inkluderer følgeforskning av anleggene som har fått støtte gjennom pilotordningen. Veilederen er ment brukt av planleggere, gårdbrukere og andre som ønsker å bygge og drifte biogassanlegg. På vegne av de deltagende institusjonene vil med dette rette en takk til Innovasjon Norge for oppdraget.

Ås, 02.10.2017

*John Morken*

*NMBU*

## 1. Innledning

Hensikten med veilederen å gi en innføring i hva biogass-prosessen er. Forståelsen av de grunnleggende mikrobiologiske forutsetningene for produksjon av biogass er viktig for å drifte et biogassanlegg riktig, og dette utgjør derfor et kapittel.

Ved bygging av anlegg må man ta hensyn både til tilgjengelige råmaterialer og egenskapene til disse. I et anlegg inngår både reaktorer, lagring av gass, hva gassen skal brukes til, samt hvordan man løser bruk av energi internt på anlegget. Det er viktig at man så tidlig som mulig vurderer og planlegger for bruken av bioresten - næringsstoffer og jordforbedringsmiddel. Økonomi er knyttet til valg av teknologi og bruken av gass og biorest. Dette blir diskutert. Biogass-produksjon kan være et bidrag til å redusere klimautslippet fra landbruket, noe som også blir drøftet i veilederen.

Dersom man ønsker å bygge anlegg, må man vite hvilke offentlige etater/myndigheter man må forholde seg til innen regelverk, tillatelser, forskrifter, og man bør ha oversikt over mulige støtteordninger. Erfaringer tyder på at selve oppstarten og ordinær drift av anleggene har vært utfordrende. God driftsøkonomi er avhengig av å redusere tiden til "plunder og heft". Dette vil også bli diskutert i veilederen.

## 2. Mulighetsstudie

### 2.1. Grunnleggende mikrobiologi

I et biogassanlegg omsettes nedbrytbart organisk materiale (substratet) til biogass, som er en blanding av metan og karbondioksid, i tillegg dannes mindre mengder med hydrogensulfid og ammoniakk. Prosessen foregår anaerobt, det vil si uten tilgang på oksygen. Ikke nedbrytbart materiale og nedbrytbart materiale som ikke omsettes, vil bli igjen i bioresten.

#### 2.1.1. Hvordan skaffer mikroorganismene seg energi?

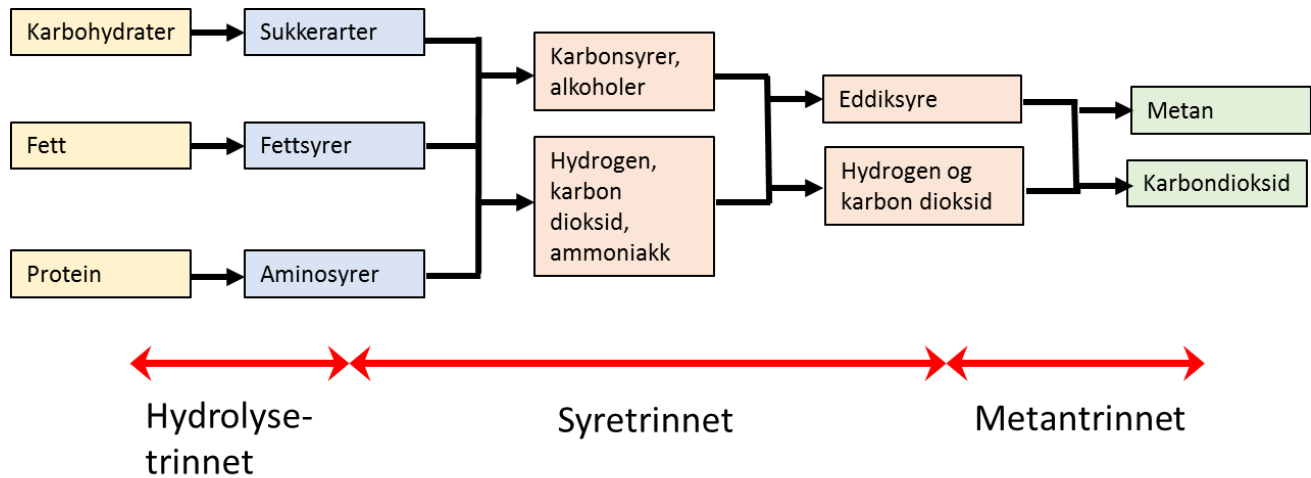
I prosesser hvor oksygen er til stede vil aerobe organismer som kan benytte oksygen skaffe seg energi ved å bryte ned organisk materiale til karbondioksid og vann ved vanlig respirasjon. Dersom oksygen mangler vil andre oksidasjonsmidler som nitrat, treverdige jern og sulfat, kunne benyttes av visse typer mikroorganismer. I tillegg til å skaffe energi ved oksydasjon kan mikroorganismene skaffe seg energi ved å gjære organiske stoffer, det vil si å spalte dem i en stabil oksidert og en stabil redusert form. I biogassprosessen spaltes organiske forbindelser til en oksidert form (karbondioksid  $\text{CO}_2$ ) og en redusert form (metan  $\text{CH}_4$ ).

Dersom oksygen er til stede vil oksygenet først brukes opp før biogassprosessen starter opp. Metantrinnet er spesielt følsomt for oksygen. Videre skal man være oppmerksom på at dersom treverdige jern, nitrat eller sulfat er til stede, vil dette reduseres til ammonium, toverdige jern og hydrogensulfid i en biogassprosess.

#### 2.1.2. De tre trinnene i biogassprosessen

Den anaerobe mikrobiologiske nedbrytningen er en sammensatt prosess hvor endeproduktene som skilles ut fra en mikroorganisme utgjør substratet til en annen mikroorganisme. Biogassprosessen er

sammensatt av tre trinn som gjerne omtales som hydrolysetrinnet, syretrinet og metantrinet. Dette er skissert i figur 1.



Figur 1. Figuren viser et forenklet flytskjema for de biologiske prosessene i en biogassprosess. Syretrinet består av to prosesser. I noen sammenhenger blir dette trinnet delt opp i acidigonestrinn og acetogensestrinn. (Flytskjema, REALTEK).

## Hydrolysetrinnet

Substratet inneholder vanligvis mange store molekyler (makromolekyler) som proteiner, fett og polysakkarider (f.eks. stivelse, cellulose, hemicellulose, pektin og glykogen). Disse stoffene er for store til å bli omsatt til biogass direkte, men må først kuttes opp (hydrolyseres) til mindre molekyler (monomerer) som aminosyrer, fettsyrer og forskjellige typer sukker. Denne spaltingen skjer ved hjelp av enzymer, protolytiske enzymer som spalter proteiner og peptider (små proteiner) til aminosyrer (eks. proteinase) og sakkaryolytiske enzymer som spalter polysakkarider, for eksempel cellulaser, hemicellulaser og amylase til monosakkarider som glukose og andre monosakkarider. Lipaser spalter fett til fettsyrer og glyserol. Oftest foregår denne spaltingen ved hjelp av eksoenzymer som skilles ut i vannfasen eller enzymer som sitter på cellenes overflate.

## Syretrinet

Monomer som mange typer sukker, aminosyrer og alkoholer brytes videre ned til organiske syrer, mindre alkoholer, ammoniakk, karbondioksid og hydrogen. De vanligste organiske syrene er eddiksyre, maursyre, melkesyre, propionsyre og smørsyre. Noen av disse er luktsterke organiske forbindelser fordi vår nese er trent opp til å gjenkjenne bedervet mat som har blitt delvis nedbrutt av bakterier. Anaerobe oksidasjoner omtales ofte som et eget trinn i biogassprosessen. Her omdannes ulike fettsyrer, alkoholer, noen aminosyrer og aromater (f.eks. benzoesyre, fenoler og visse aminosyrer) til acetat (anionet til eddiksyre ved nøytral pH) og karbondioksid mens hydrogen frigjøres. Det dannede hydrogenet må hele tiden «spises opp» av mikroorganismer i det neste trinnet – metantrinet, hvis ikke blir hydrogenkonsentrasjonen for høy og prosessen stanser opp.

## Metantrinnet

Den vanligste metandannelsen skjer ved at acetotrofe (eddiksyrespisende) metandannende organismer spalter acetat, men også metanol og metylaminer til metan og karbondioksid (og ammoniakk fra metylaminer). Eksempler på organismer som danner metan på denne måten er *Methanosarcina* og *Methanosaeta*. Dette er ikke vanlige bakterier, men en form for «urbakterier» som danner et eget rike Archaea, på norsk omtalt som arker. *Methanosaeta* er mest effektiv til å utnytte acetat, men har til gjengjeld en lengre generasjonstid enn *Methanosarcina*.

Metandannelsen skjer alternativt ved at karbondioksid og hydrogen bindes og det dannes metan og vann. Også maursyre og karbonmonoksid (kullos) kan benyttes som substrat for en del av disse organismene. Mange arker inngår i denne gruppen, for eksempel *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* og *Methanobrevibacter*.

Metan og karbondioksid kan også dannes indirekte fra acetat ved at acetat først spaltes til hydrogen og karbondioksid som i sin tur omdannes til metan og karbondioksid. Dette samarbeidet mellom 2 ulike organismegrupper omtales gjerne som syntrof acetatoksidasjon forkortet SAO.

*Rent generelt kan man si at organismene som inngår i metantrinnet vokser saktere, er svært følsomme for oksygen og mer følsomme for pH-variasjoner, høye saltkonsentrasjoner, tungmetaller og organiske forurensninger enn de andre mikroorganismene.*

### 2.1.3. Miljøbetingelser

#### Temperatur

Biogassprosesser foregår gjerne ved såkalte mesofile betingelser (20 – 45 °C, vanligst rundt 37 °C) eller ved termofile betingelser (45 – 70 °C, vanligst rundt 55 °C). Metandannelsen kan skje ved lavere temperaturer, men foregår da langt saktere, eksempelvis i myrer og i sedimenter, men også i lagertanker for husdyrgjødsel.

*Man skal være oppmerksom på at forskjellige organismer har forskjellige optimumstemperaturer, og en forskjellig toleranse for temperaturvariasjoner. Større, raske svingninger i temperaturen vil således skape ubalanse i prosessen fordi enkelte prosesstrinn hemmes. Det kan i sin tur føre til en opphopning av syrer, pH synker og prosessen «går sur».*

#### pH

Biogassprosessen foregår gjerne ved om lag nøytral pH (pH på 6,5 – 7,5). Hydrolysetrinnet og syretrinnet har organismer som er mer tolerante for lavere pH, og dette er bakgrunnen for at disse prosessene av og til separeres ut i et eget forbehandlingstrinn. Når en lav pH skyldes organiske syrer, vil denne nøytraliseres når syrene omsettes videre i en sammensatt biogassprosess.

#### Sporelementer

Mikroorganismene i en biogassprosess har behov for vitaminer og sporelementer, men behovet varierer mellom de ulike organismene. De metanogene arkene har vist å ha et behov for jern, sink, nikkel, kobber, molybden og i visse tilfelle har også wolfram og selen vist seg å være viktige. Mange råstoff kan



mangle tilstrekkelige mengder av ett eller flere av disse mikroelementene, eksempelvis halm, energivekster eller industriavløp fra treforedling etc. Husdyrgjødsel er ofte rikt på mineraler og tilsetning av husdyrgjødsel kan således være en sikring mot slik begrensning. Alternativt kan en mikroelementblanding tilsettes særskilt. En effekt av en slik begrensning kan skje sterkt forsinket etter oppstart av en prosess siden konsentrasjonen tynnes ut sakte. Når konsentrasjonen av et spesielt mikronæringsstoff har nådd et minimum oppstår problemene, men de kan være vanskelig å relatere dette til substratet siden «det har gått så bra så lenge».

## Nitrogen

Alt levende liv trenger nitrogen til aminosyrer/proteiner, genmateriale og mange andre nødvendige strukturer og molekyler. Substratet må derfor inneholde nitrogen, men dersom det blir mye nitrogen vil konsentrasjonen av ammonium/ammoniakk som er et nedbrytningsprodukt ved nettopp nedbrytning av blant annet protein, kunne bli for høyt. Spesielt de metandannende arkene er følsomme og et for høyt ammoniuminnhold vil således kunne registreres ved at «prosessen går sur». Man kan finne grenseverdier på 2 – 3 g  $\text{NH}_4^+$ -N per liter i litteraturen, men erfaringer viser at man kan få gode prosesser ved langt høyere konsentrasjoner. Det er ammoniakkformen som er mest skadelig, og likevekten mellom ammonium og ammoniakk forskyves mot ammoniakk når pH stiger til mer enn 7, og mest ved høyere temperaturer (for eksempel 55 °C i forhold til 30 °C). Eksempler på proteinrike råstoff er slakteriavfall og fiskeavfall, men også hønsegjødsel og svinsegjødsel har et høyt nitrogeninnhold. Nitrogenrikt råstoff kan derfor måtte balanseres med annet mere karbonrikt råstoff.

## Fettsyrer

Kortere fettsyrer (FA) dannes ved nedbrytning av karbonrikt materiale, mens langkjedete fettsyrer (mer enn 18 karbonatomer) dannes ved hydrolyse av fett til langkjedede fettsyrer (LCFA) og glyserol. Eksempler på langkjedete fettsyrer er stearinsyre, palmitinsyre, oljesyre og linsyre. Ved rask nedbrytning av karbonrikt materiale kan det hope seg opp kortere fettsyrer dersom metandannelsen blir «for sen». Dette vil kunne medføre at pH synker og prosessen «går sur». Langkjedete fettsyrer kan i likhet med ammoniakk også hemme metandannelsen. En opphopning av langkjedete fettsyrer kan i tillegg medføre skumproblemer i biogassprosessen.

---

*Som det fremgår av dette kapittelet, er biogassprosessen en sammensatt prosess hvor alle ledd i prosessen (på samlebandet) må gå med samme hastighet. Substratenes sammensetning, valg av teknologi og måten man drifter prosessen på er avgjørende for et godt resultat. Dette er nærmere beskrevet i de neste kapitlene.*

## 2.2. Aktuelle substrater og blandingsforhold

### 2.2.1. Litt teori

Produsert metan er avhengig av konsentrasjonen av organisk tørrstoff i substratene, samt hvor stor andel det er av karbohydrater, protein og fett. Prosessen kan bli inhibert dersom konsentrasjonen av ammonium blir for høy, pH blir for lav, eller konsentrasjonen av flyktige fettsyrer blir for høy. Nitrogen er også et næringsstoff for mikroorganismene, og forholdet mellom karbon og nitrogen, C/N-forholdet blir

brukt som et mål på hva som gir optimal produksjon. For lavt C/N-forhold kan lett gi inhibering, mens for høyt C/N-forhold kan føre til lavere mikroorganismeaktivitet. C/N-forhold på mellom 20:1 og 30:1 er brukt som nøkkelregel for maksimal produksjon.

Ved vurdering av ulike substrater, kan følgende punkter være aktuelle å vurdere:

- Øvre grense for tørrstoff
- Hydraulisk oppholdstid
- Konsentrasjon av organisk materiale
- Riktig C/N forhold

Fullt omrørte reaktorer (CSTR) forutsetter at substratene kan pumpes inn i reaktoren(e).

Sentrifugalpumper har en øvre grense for tørrstoffinnhold på ca. 10 %, mens både dreiestempelpumper og eksentersnekkepumper kan pumpe substrater med høyere TS-innhold.

I tillegg til at pumpene kan sette begrensning på TS-innholdet, kan også andre komponenter slik som røreverk eller varmevekslere også være begrensning.

Forbehandlingen dampeksplasjon øker råstoffenes flyteegenskaper, og fører til at substratene blir mer lettflytende, og det er rapporter om at man kan øke TS-innholdet til inntil 18 %.

Dersom substratene som skal brukes i reaktoren(e) har for høyt TS-innhold til at de kan pumpes med valgte pumper, må man blande inn vann.

Hydraulisk oppholdstid (HRT) oppgis i antall døgn. CSTR reaktorer må ha oppholdstid i reaktor på mer enn ca. 10 dager. For liten oppholdstid vil føre til risiko for at man får utvasking av mikroorganismene, og derved opphør av biogassproduksjon. Jo lenger oppholdstid, jo mer av organisk materiale blir omdannet til biogass. På den andre siden vil lang oppholdstid føre til biogassproduksjon per m<sup>3</sup> reaktor og dag blir lav. Noen substrater trenger lenger tid enn andre før de blir tilstrekkelig nedbrutt. Mange husdyrgjødselanlegg har HRT på 25-30 døgn, mens matavfallsanlegg trenger kortere HRT- kanskje 15 døgn. Energivekster slik som mais- eller grasensilasje trenger lang tid på nedbrytningen, kanskje opp mot 90 døgn. Tabell 1 gir en oversikt over tørrstoff- og organisk tørrstoffinnhold, C/N-forholdet, spesifikt metaninnhold og metanprosent til et utvalg av råstoff/substrater.

Tabell 1. Viktige egenskaper til noen av de mest aktuelle råstoffene til biogassproduksjon.

Råstoff	TS	VS	C/N	Spesifikt metan- potensial (m <sup>3</sup> /kg VS)	Metan- prosent	Metan- produksjon (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> gjødsel)	Annet
Storfe, bløtgjødsel	7-10	80	6-20	0,15-0,2	60	8,4-16	mye tungt nedbrytbart materiale
Storfe, fast	20-30	80	10-20	0,15-0,2	60	24-48	
Gris, bløtgjødsel	5-7	80	5-12	0,25-0,3	62	10-16,8	
Gris, fast	20-30	80	5-12	0,3	62	40-72	
Fjørfe, bløt	5-10	80	2-7	0,3	65	12-24	Inneholder fjør
Fjørfe, fast	20-30	80	2-7	0,3	65	48-72	
Halm	70-90	80- 90	90	0,15-0,30	0,50	-	Må forbehandles
Gras	20-25	88	18	0,30-0,55	56	-	Må findeles
Matavfall fra kommunal renovasjon	20-30	85- 90	15	0,45-0,55	65	-	ABP-forordning, Kategori 3
Matavfall fra storkjøkken	25-30	87	23	0,5-0,6	63	-	ABP-forordning, Kategori 3
Fiskeslam <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-	Må blandes med annet råstoff. Mye fett og protein
Fiskeensilasje <sup>1)</sup>	20-25	-	-	-	-	-	
Slakteavfall <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	-	ABP-forordning, Kategori 2
Hestemøkk	30	80	-	0,17-0,25		-	Kan inneholde sand, og sagflis

<sup>1)</sup> lite data fra kun avfall.

<sup>2)</sup> Svært ulike potensial vil kunne måles fra slakteavfall avhengig av hva det inneholder. Man må dersom gjøre målinger på det avfallet man har i hvert enkelt tilfelle.

I tabellen er biogasspotensialene angitt som intervaller. Mange faktorer avgjør hvor mye av potensialet som utnyttes, noe som gjør at man må være varsom med å bruke bare ett tall for beregning av biogassproduksjonen.

### 2.2.2. Husdyrgjødsel

Gjødsel vil kunne utgjøre en god basis for råstoff til biogassreaktorer fordi dens innhold er sammensatt og gir prosessen stabilitet. Fôret til dyra vil man dels finne igjen i avføringen, og inneholder mineraler og næringsemner som trengs i prosessen. Gjødsel inneholder relativt lite fett, mens protein og karbohydrater er hovedkomponentene. Gjødsel har vært anaerobt nedbrutt i vom, mage og tarmsystem, noe som reduserer gjødsels biogasspotensial.

#### 2.2.2.1. Storfegjødsel

Som regel er storfegjødsel bløtgjødsel med tørrstoffinnhold (TS) på ca. 8 %. Gjødsel fra ammekyr og kjøttproduksjon kan inneholde mer tørrstoff, kanskje 20 – 25 %. Organisk tørrstoff (betegnes VS (volatile solids, eller flyktig tørrstoff)) utgjør ca. 80 % av tørrstoffet. Karbohydratene består av lignocellulose (ligning, hemicellulose og cellulose). Siden de mest lett nedbrytbare bestanddelene allerede er nedbrutt, blir hydrolyse en begrensning i hvor raskt de tyngre nedbrytbare bestanddelene blir omsatt. Metanpotensialet fra storfegjødsel er relativt lavt, ca. 220 m<sup>3</sup>/kg VS, mens man ved 25 – 30 dagers oppholdstid i reaktor kanskje kan regne at man får 150 – 200 m<sup>3</sup>/kg VS. C/N-forholdet kan variere mye mellom 6:1 og 20:1.

Storfegjødsel vil pga den anaerobe omsetningen i vomma, inneholde mikroorganismene som trengs i biogassreaktorer. Det kan brukes som podemateriale for å starte biogassreaktorer basert på andre materialer.

#### 2.2.2.2. Grisejødsel

Grisejødsel inneholder ca. 6 % TS, men dette kan variere mer i forhold til fôringsmetode (våtfôring gir noe lavere TS). VS andelen av TS er ca. 80 %. Fiberinnholdet i grisejødsel er lavere enn det det er i storfegjødsel. Innholdet av ammonium er høyere enn i storfegjødsel, og inhibering kan være problem. Metanpotensialet er opp mot 300 m<sup>3</sup>/kg VS, fordi fôret ikke blir anaerobt nedbrutt i dyra, mens materialet omsettes raskere, slik at man kan redusere oppholdstida til ca. 20 dager, og C/N forholdet er rundt 5:1.

#### 2.2.2.3. Fjorfegjødsel

Metanpotensialet er høyt, ca. 300 m<sup>3</sup>/kg VS, men høyt innhold av ammonium kan inhibere prosessen. C/N-forholdet er vanligvis mellom 3:1 og 10:1. Fjorfegjødsel kan gi driftsproblemer i form av flytedekke av eggesskall og fjør.

#### 2.2.2.3. Andre dyr

I mange produksjoner brukes mye strø, feks. småfe på talle, hest. Strø av sagflis er dårlig egnet for biogassproduksjon. Sagflis har høyt C/N forhold, og det kan være aktuelt å bruke det som en karbonkilde, forutsatt lang oppholdstid. Alternativt kan halm brukes som strø.

### 2.2.3. Avfall fra planteproduksjon

I første rekke kan man tenke seg at halm kan brukes som substrat. Ubehandlet halm gir lite nedbrytning, og dermed lavt biogasspotensial. Finkutting av halmen til under 5 mm kan være et alternativ. Et annet alternativ kan være luting. Da brukes kjemikalier til økning av pH, f.eks. natriumhydroksid. Dette vil løse opp halmen slik at cellulosen blir lettere tilgjengelig.

### 2.2.4. Matavfall

Matavfall kan brukes som substrat. Det er krav om at avfallet må hygieniseres før behandling. Matavfall fra husholdningene må forbehandles i henhold til animalsk biproduktforordning, og har krav til pasteurisering (70 grader i en time) (kategori 3 avfall). Se forøvrig kap. 2.3.1. for mer informasjon om regelverk. I tillegg må plast, glass, metall og annen forurensning skilles ut. Matavfall har et tørrstoffinnhold på mellom 20 og 30 %. C/N forholdet er mellom 15 og 32. Til nå har man mottatt vederlag for å ta imot og behandle matavfall, noe som har forbedret økonomien til anleggene.

### 2.2.5. Fiskeavfall og fiskeensilasje

Avfall fra fiskeindustrien og oppdrettsnæringen har vært brukt som substrat. Vi kan skille mellom fiskeensilasje som er behandling av død fisk fra fiskeoppdrett og slakteavfall, og slam fra mærer og landbaserte anlegg. Fiskeensilasje inneholder mye protein og fett, og har en pH-verdi på ca. 4. Dermed blir biogasspotensialet høyt, og metankonsentrasjonen høy, men det proteininnholdet medføre at C/N forholdet blir lavt, og en må ta hensyn til den lave pH-verdien. Innholdet av fett kan hydrolysere til langkjedete fettsyrer, noe som kan inhibere prosessen, eller føre til skumdannelse. Forsøk har vist at det maksimale man kan blande inn er ca. 10 - 15 % av volumet. Det er lite erfaring så langt med bruk av fiskeslam til biogassproduksjon.

### 2.2.6. Slakteavfall

Slakteavfall kan brukes som substrat, men det er viktig å være klar over at dette krever at avfallet er sterilisert før det kan brukes. I likhet med fiskeavfall kan fettinnholdet være en begrensning i hvor mye man kan blande inn i annet avfall. Slakteavfall må forbehandles i henhold til animalsk biproduktforordning, og har krav til 133 grader, 3 bars trykk i 20 minutter (kategori 2 avfall). Se forøvrig kap. 2.3.1. for mer informasjon om regelverk.

### 2.2.7. Annet

Avfall fra andre planteproduksjoner kan brukes, men man må ta hensyn til flere forhold rundt råvaren som f.eks. tørrstoffinnhold og C/N forhold. I andre land brukes energivekster som råvare, men Norge har hatt som utgangspunkt at dyrket areal skal brukes til matproduksjon slik at dyrking av energivekster i til biogass ikke har vært aktuelt. Det kan være aktuelt å bruke rester av grasensilasje, ødelagt rundballer etc.

Det er mange ulike avfallstyper fra industri som kan være aktuelle. Egenskapene til de aktuelle råstoffene og evt. deres behov for forbehandling, må undersøkes dersom det er aktuelt.

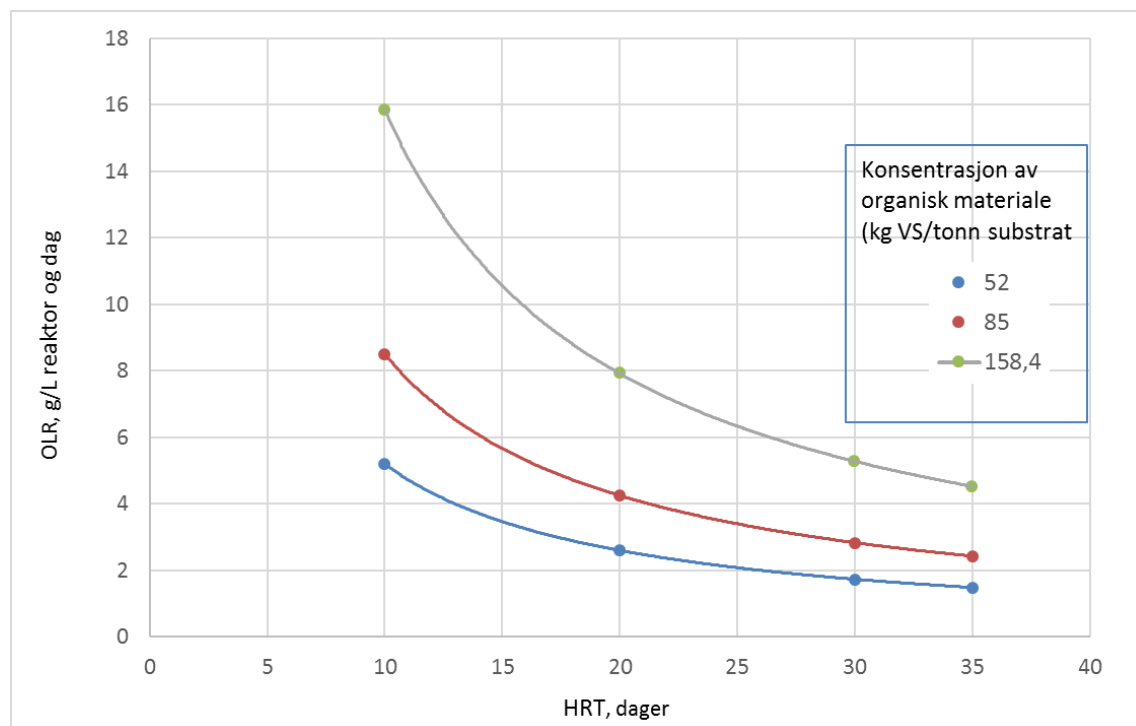
### 2.2.8. Avløpsslam

Kloakkslam fra avløpsrensverk kan være et råstoff. På grunn av bruksbegrensninger til bioresten, er det lite aktuelt å blande slam med andre råstoff. Gjødselforskriften definerer bioresten som slam dersom slam blandes inn som råstoff. Begrensningene er først og fremst at bioresten må pløyas eller harves ned, og man kan ikke bruke den på andre planteproduksjoner enn korn. Det må gå mer enn tre år fra siste gjødsling til man dyrke andre vekster for humankonsum.

### 2.2.9. Blandinger og blandingsforhold.

Blandinger av ulike substrat vil i mange tilfeller være positivt. Ved riktig valg kan man få et optimalt C/N forhold i reaktoren, og man kan unngå å bruke vann for å få et egnet tørrstoffinnhold. Man kan også oppnå et økt biogassutbytte dersom man sammenligner hva man kan oppnå dersom man bruker bare ett av råstoffene. Det er flere teorier hvorfor biogassutbytte øker. Årsakene kan være flere, både mer optimalt C/N-forhold, mer riktig mineralsammensetning eller generelt bedre forhold for mikroorganismene.

Konsentrasjon av organisk materiale i blandingen av substrat inkludert evt. vanninnblanding sammen med valg av hydraulisk oppholdstid, gir det vi kaller organisk belastning (OLR) som oppgis som g VS/l reaktor og døgn. Dersom HRT på ca. 25 døgn velges, vil kugjødsel gi OLR på ca. 2. Kugjødsel har konsentrasjon av organisk tørrstoff på ca. 50-60 kg VS/tonn kugjødsel. Figur 2 viser sammenheng mellom organisk belastning og hydraulisk oppholdstid ved ulike konsentrasjoner av organisk materiale.



Figur 2. organisk belastning som funksjon av hydraulisk oppholdstid med substrat med konsentrasjonene 52, 85 og 158,4 kg/tonn av organisk materiale.

Erfaringer tyder på at OLR på inntil 5 g/l reaktor og døgn gir stabile forhold i reaktoren. For stor belastning kan medføre at får opphopning av flyktige fettsyrer, for høy ammoniakk-konsentrasjon, eller lav pH, noe som kan føre til at biogassproduksjonen stopper opp. Det finnes imidlertid eksempler på reaktorer som vært stabile selv ved belastning på 10-11 g/l og døgn.

Figuren viser konsentrasjon av organisk tørrstoff på 52 kg VS/tonn, 85 kg VS/tonn og 158,4 kg VS/tonn. 52 kg VS/tonn er typisk for storfegjødsel. Ved 25 dagers oppholdstid for denne kugjødsla blir den organiske belastningen 2 g VS/liter og døgn. Dersom man blander inn matavfall og vann til 10 % TS, vil substratet inneholde ca 85 % av tørrstoffet som organisk tørrstoff. En slik blanding gir en konsentrasjon på 85 kg VS/tonn. Figuren viser at en organisk belastning på 5 g/liter og døgn oppnås ved 17 dagers oppholdstid. Dersom man øker tørrstoffinnholdet til 18 % og VS-prosenten til 88 % av TS, ville konsentrasjonen bli 158, 4 kg VS/tonn. Da måtte man øke den hydrauliske oppholdstiden til 32 døgn for å holde OLR på 5 g/liter og døgn.

## 2.2.10. Reaktortyper

Vi kan skille mellom reaktorer hvor

### a. mikroorganismene lever på substratet.

Dette er reaktorer som enten kan ha gjennomstrømning (CSTR), batch-reaktorer, eller "plug-flow"-reaktorer.

Den mest vanlige er CSTR hvor en omrører blander innholdet, og man pumper inn råstoff og tar ut biorest hver dag. Den gjennomsnittlige tiden som råstoffene oppholder seg i reaktoren kalles hydraulisk oppholdstid. En vanlig CSTR utgjøres av en sirkulær tank hvor forholdet mellom diameter og høyde varierer.

I batch-reaktorer fyller man helt opp reaktoren og lar massen være i reaktoren inntil biogass-produksjon opphører. Man tømmer reaktoren til det er ca. 10 % igjen. Dette blir brukt som "pode"-materialet til det nye råstoffet. Hydraulisk oppholdstid er lengden det går mellom hver påfylling.

Den tredje typen reaktorer er "plug-flow" (PFR). Dette er liggende reaktorer hvor massen beveger seg gjennom reaktoren som plugg. Hydraulisk oppholdstid er tiden det tar for massen å bevege seg fra innløpet til utløpet.

Mens CSTR er beregnet for pumpbare materialer, kan batch-reaktorer være konstruert for pumpbare materialer eller faste materialer (fast-fase reaktorer, TS-innhold på 20-30 %). Dersom det er faste materialer må man fylle reaktoren med en laster. Man kan skille mellom tørr biogassreaktorer og perkulasjonsreaktorer. I den første foregår biogassproduksjonen i hovedsak i det faste materialet. Det er nødvendig ta ut væske i bunnen fra anlegget. Dette går gjennom en CSTR eller UASB reaktor før væsken blir dusjet over råstoffet. Man må blande nytt råstoff med allerede behandlet materiale for å "pode". Mellom ½ og ⅓ brukes til poding. I perkulasjonsreaktore brukes reaktoren(e) til fast materialet til

hydrolysen i prosessen. En større mengde væske brukes til dusjing over materialet. Det brukes en tank til lagring av perkulat før det pumpes tilbake til reaktorene. Fra perkulat-tanken pumpes også væske til f.eks. en UASB reaktor.

Dersom reaktorer for tørre materialer (20 - 35 % t.s) er kontinuerlige er de av typen plug-flow. Plug-flow reaktorer takler høyere organisk belastning enn det CSTR reaktorer gjør.

### **b. mikroorganismene oppholder seg permanent i reaktoren**

Mikroorganismene samler seg i granuler som består av mikroorganismer fra alle trinnene i anaerob prosess. Granulene har høyere egenvekt enn vann, og dette kan utnyttes til pumpe en mengde råstoff inn i bunnen av reaktoren og ut i toppen av reaktoren. Ved å velge riktig hastighet av råstoffet i reaktoren, vil ikke granulene følge med råstoffet ut igjen. Denne typen reaktorer kalles Uplow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Det er lett for at partikler i råstoffet tar med seg granulene ut av reaktoren, og denne type reaktor passer til råstoff med svært lite partikler. De har vært brukt til bryggeri- og treforedlingsavløp, og i varmere strøk også til behandling av avløps slam fra renseverk. I en UASB reaktor er høyden på reaktoren stor i forhold til diameteren. For å unngå høyden på reaktoren, kan reaktoren konstrueres horisontalt hvor skillevegger sikrer at det blir god kontakt mellom granuler og råstoff. Denne typen reaktorer takler råstoff med noe partikler i. Reaktorene kalles ABR (Anaerobic Baffle Tank Reactor). Det har vist seg at den kan brukes på filtrert gjødsel hvor man på forhånd skiller ut de større partiklene.

I stedet for granuler kan mikroorganismene oppholde seg på biofilm. Biofilmreaktorer har også vært brukt. Biofilm kan kombineres med CSTR og plug-flow-reaktorer.

Begrensende faktor for hydraulisk oppholdstid i CSTR er hvor raskt mikroorganismene regenereres. Til dette trenger de minst ca 8 dager. Dersom oppholdstiden blir for kort, vil man "vaske" ut mikroorganismene. Dersom mikroorganismene oppholder seg permanent i reaktoren trenger man ikke å ta hensyn til oppholdstiden på samme måte. Oppholdstiden kan reduseres til 2-5 dager og i noen tilfelle under ett døgn, noe som betyr at reaktorene kan ha et mindre volum.

#### **2.2.11. Lagring av gass**

Lagring av produsert gass kan gjøres på ulike måter. Gassproduksjonen vil variere, og faktorer som tid mellom hver innmating, variasjoner i egenskapene til substratet, variasjoner i temperatur i reaktor, avgjør størrelsen på gassproduksjon er tidsenhet. Mengden gass som brukes i gassmotor, i oppgraderingsenhet eller i gassbrenner må variere lite, og gasslager vil kunne fungere som "buffer".

Noen leverandører har brukt "head-space" i reaktor til lagringen. Head-space er det volumet i reaktoren som gass opptar, dvs. volumet i reaktoren over væskenivået. Dette volumet er begrenset, men varierer avhengig av leverandør.

Eget gasslager (Figur 3) kan være et alternativ dersom et større gasslager er ønskelig eller nødvendig. På større anlegg er dette vanlig.





*Figur 3. Innendørs gasspose (foto: John Morken).*

Et tredje alternativ er lagring av gassen under takkonstruksjon av slutt-lagertank. Danske undersøkelser har vist at det produseres en del biogass i lageret, og ca. 20-25 % av gassen som totalt produseres kommer produseres fra slutt-lageret, og ved å kombinere dette med gasslager, kan denne gassen utnyttes (Figur 4).



*Figur 4. Sluttlager kombinert med gasslager (Foto: John Morken)*

### 2.3. Biorest brukt som gjødsel eller som jordforbedringsmiddel

I en biogassprosess dannes biogass, mens den gjenværende massen som da tas ut av reaktoren etter prosessen betegnes biorest. Denne vil kunne være svært forskjellig, avhengig av råstoffene som er benyttet som substrater, samt valg av biogass teknologi. I dag er det vanligst at den beste bruken av biorest er som gjødsel eller som jordforbedringsmiddel, og det er dette som er behandlet i dette kapittelet.

#### 2.3.1. Næringssaltene

Det er viktig å være klar over at alle mineraler passerer gjennom en biogassprosess uten at de mistes. Dette gjelder viktige næringssalter som fosfor, kalium, magnesium og alle mikronæringsstoffene. Likeledes vil ikke nitrogen tapes i selve prosessen, men det meste av nitrogenet omsettes til ammonium-N. Dette kan tapes til atmosfæren som ammoniakk hvis pH er litt for høy, og det vil ofte være tilfelle i en ubehandlet biorest. Man bør derfor gjøre tiltak for å minimere tapet av ammoniakk. Svovel kan tapes i form av hydrogensulfid, som kan følge med som en forurensning av biogassen hvor den i sin tur renses ut før senere bruk av biogassen. Siden det meste av det organiske materialet brytes ned i løpet av biogassprosessen, blir en del næringssalter mer vannløselig og lettere tilgjengelig for planteopptak hvis bioresten benyttes som gjødsel.

#### 2.3.2. Tungmetaller

Siden en del av tørrstoffet fjernes i form av biogass vil konsentrasjonen av næringssalter, men også av tungmetaller øke på tørrstoffbasis i en biogassprosess. Dette kan i enkelte tilfeller skape problemer for senere etterbruk, siden gjødselveforskriften foreløpig forholder seg til tungmetall-konsentrasjoner på tørrstoffbasis. Forholdet mellom tungmetaller og gjødseleffekt endrer seg derimot ikke.

#### 2.3.3. Råvarenes betydning for bioresten

Gjødselveforskriften, forskriften om animalske biprodukter og en del forskrifter som regulerer risiko for spredning av plantesykdommer vil være av overordnet betydning når man vurderer hvilke råstoff som er egnet, og man samtidig ønsker å benytte den produserte bioresten som gjødsel i landbruket. Dette regelverket vil også definere hvilke krav som stilles til forbehandling og etterbruken av bioresten. Man bør for eksempel være klar over at dersom avløpsslam eller septikkslam inngår som råstoff, så vil dette legge klare begrensninger på etterbruken, uavhengig av målte mengder av miljøgifter. Råstoffenes innhold av nitrogen og fosfor vil være med å bestemme den positive gjødseleffekten til den produserte bioresten. Eventuelle fellingskemikalier i råstoffet, for eksempel i avløpsslam, vil kunne hindre fosforopptaket i planter fra den produserte bioresten.

*Det er viktig at den produserte biogjødselen karakteriseres med hensyn til gjødseleffekt, samt innhold av miljøgifter. Den må også ha en opprinnelsesgaranti slik at det sikres at brukeren benytter den i henhold til regelverket.*

## 2.3.4. Valg av biogassprosess – betydning for bioresten

### 2.3.4.1. Helomrørte biogassreaktorer (CSTR – Continuous Stirred Tank Reaktor)

Helomrørte biogassreaktorer produserer en våt biorest med et relativt lavt tørrstoffinnhold. Dette resulterer i at det produseres store volumer. Dersom biogassanlegget er plassert i et landbruksområde som har behov for gjødsla, er det enkleste og beste alternativet å spre det på samme måte som blautgjødning, men med metoder som hindrer ammoniakktap. Hvis blautgjødning behandles i et biogassanlegg vil den produserte bioresten lukte mindre og ha en lavere viskositet som letter nedtrekking i jordsmonnet. Mellomlagring av våt biorest kan gjøres sentralt på biogassanlegget, eller i satellitt-lagre/gjødseltanker hos bøndene.

Dersom anleggene er store kan volumene bli for store å håndtere. Et alternativ kan da være å avvanne bioresten ved bruk av filterpresse, sentrifuge eller annen avvanningsteknologi. Volumet av vannfasen kan reduseres ved inndamping, noe som gir en mer næringsrik vandig biorest. Inndampningen må gjøres ved bruk av teknologi som forhindrer ammoniakktap. Vannfasen har et relativt høyere innhold av nitrogen siden fosfor i større grad følger fastfasen. Valg av avvanningsteknologi (partikkelstørrelse/partikkelvekt) vil være med å styre hvor mye fosfor som følger vannfasen, alternativt fastfasen.

Den faste fasen kan eksempelvis komposteres sammen med annet organisk avfall, for eksempel park- og hageavfall, flis eller bark. Den produserte komposten kan da benyttes som jordforbedringsmiddel, men mange slike komposter er så fosforrike at de heller bør brukes som fosforgjødsel. Man skal være oppmerksom på at kompostering av avvannet biorest kan medføre store metanutslipp, noe som bør undersøkes nærmere. Hvis dette er et klimaproblem må denne komposteringen foregå på en måte som hindrer slike utslipp eller man må vurdere å heller lage et fosforrikt gjødselprodukt i stedet for kompost.

Alternativt kan den faste fasen tørkes og/eller pelleteres. På dette området foregår det en intens FoU-aktivitet. Målet er å få et stabilt og lett transporterbart produkt med en god gjødselkvalitet, produsert på en økonomisk og ressursmessig god måte, for eksempel ved bruk av lite energi.

### 2.3.4.2. Fastfase biogassprosesser

Biogassprosessen kan også foregå i fast form, med en struktur omtrent som kompost. Dette gjelder «garasjeprosesser» hvor biogassprosessen foregår i store lukkede rom, gjerne med perkolasjon av vann gjennom massen, eller i fastfase plug-flow-systemer. Den produserte bioresten vil måtte behandles med luft for å stabiliseres etterpå og vil deretter kunne benyttes som kompost eller jordforbedringsmiddel. Overgang fra anaerob fase til luftet fase kan gi luktutslipp, og man skal være oppmerksom på mulig eksplosjonsfare. Valg av teknologi må sikre at disse hensyn ivaretas.

### 2.3.4.3. UASB-reaktorer (eller tilsvarende teknologi)

Denne typen reaktorteknologi håndterer vandige løsninger med et lavt partikkelinnhold. Bioresten vil således være lettflytende på samme måte som vannfasen fra avvannet biorest fra CSTR-prosesser. Dersom råstoffet må siktes/sentrifugeres før de behandles i en slik prosess, må den faste fasen også håndteres på en god måte. Denne faste fasen har da ikke gjennomgått en biogassprosess, og er derfor ikke å anse som en biorest.

## 2.4. Hva skal energien brukes til?

Det er tre hovedmåter å bruke energien i biogass på

1. Produsere varme (varmt vann, damp)
2. Kraftvarme, eller CHP (Combined Heat and Power) heter det når elektrisitet og varme produseres samtidig. Gassen brukes i en stempel- eller Stirling-motor, eller gassturbin som driver en generator. Varmeproduksjonen i et kraftvarmeanlegg går ut på å ta vare på den varmen som oppstår under elektrisitetsproduksjonen, kjøling av motor og varmegjenvinning fra eksos.
3. Oppgradere biogass til drivstoffkvalitet (mer enn 97% metan, også kalt biometan) til bruk direkte i kjøretøy, eller injeksjon i (naturgass-)nett.

Varmeproduksjon er den enkle løsningen for små anlegg. Kraftvarme har tidligere vært løsning for mange biogassanlegg på avløpsrensaneanlegg, men i den senere tid har flere av dem gått over til å levere gass av drivstoffkvalitet. Nye anlegg som bygges for matavfall velger i de fleste tilfelle å produsere biometan til kjøretøy.

I Norge gjør den lave prisen for elektrisk strøm det mindre interessant å produsere kraftvarme dersom det ikke er spesielle forhold som gjør det økonomisk interessant. Et slikt forhold kan være behov for elektrisitet og mindre gass enn det lønner seg med oppgradering. Aktuelt for noen avløpsrensaneanlegg. I andre land med høyere strømpris og tilskudd direkte rettet mot strømproduksjon er kraftvarme meget utbredt. Ved kraftvarmeverk blir rundt regnet 27 - 40 % av energien omdannet til elektrisitet mens resten blir varme. Total utnyttelse av energien i er i området 85 - 90 %. Anlegg som har kraftvarmeverk benytter vanligvis en del av varmen til oppvarming av substrat og kompensere for varmetap fra reaktor. Dette reduserer netto utnyttbar varme til andre formål.

Det er flere etablerte, kommersielle leverandører av oppgraderingsteknologi, som også kan levere nødvendig utstyr for forbehandling av gassen. Teknologistatus for oppgraderingsanlegg er at det er behov for mer enn 50 – 100 Nm<sup>3</sup>/time rågass for at det skal være økonomisk. Det er mange som prøver å utvikle anlegg med lavere kostnader, så med tiden kan denne nedre grensen bli lavere.

Rå biogass inneholder også andre stoffer enn metan (CH<sub>4</sub>) og karbondioksid (CO<sub>2</sub>). De viktigste er fuktighet og hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). H<sub>2</sub>S er meget giftig, og ved forbrenning dannes det svoveldioksid som reagerer med oksygen i luft og danner svovelsyre som er korrosiv. Alt etter anvendelse er det behov for mer eller mindre rensing av gassen.

Anvendelsen av gassen er meget viktig for økonomien i et biogassanlegg og også for den klima- og miljønytte man kan beregne for anlegget. En god anvendelse av gassen bør være på plass tidlig i et prosjekt. Klimanytten er størst dersom gassen erstatter fossilt brensel (bensin, diesel, olje).

## 2.5. Oppgradering av biogass

Det finnes flere forskjellige metoder for å oppgradere biogass til biometan. Det vil føre for langt her å gå inn i alle detaljer. Hvis vi ser på de anleggene som er i Norge kan vi skille mellom to hovedtyper: Membraner: Gassen pumpes opp (ca. 15 bar trykk) og ledes inn til membraner. CO<sub>2</sub> passerer gjennom membranen, mens metan (CH<sub>4</sub>) kan ikke passere. CO<sub>2</sub> blir dermed skilt ut og man har tilbake en gass med mer enn 97% metan. Det kan være nødvendig med en totrinnsprosess for å fjerne all CO<sub>2</sub>.

Absorpsjonsanlegg: Rå biogass ledes gjennom en væske som absorberer CO<sub>2</sub>. Væsken tas ut og CO<sub>2</sub> fjernes fra væsken, som så brukes om igjen (Det vil si at væsken sirkulerer rundt og rundt i anlegget). Det vil som regel være et lite behov for etterfylling. Væsken kan være vann (ofte kalt vannskrubber) eller en væske tilsatt et stoff fra gruppen aminer, som binder CO<sub>2</sub> (aminanlegg).

Energiforsk i Sverige ga i 2016 ut en rapport om oppgradering, som går i detaljer om de enkelte prosessene. <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22326/biogas-upgrading-technical-review-energiforskrappport-2016-275.pdf>

Ved gassmengder under 100 m<sup>3</sup>/h blir investeringskostnaden per m<sup>3</sup> kapasitet for oppgradering høy. Det vil si at dersom man har under 100 m<sup>3</sup>/h vil det med dagens teknologi i de fleste tilfelle være uøkonomisk å oppgradere. Dette er et område med teknologitvilling så i fremtiden kan dette endre seg.

Avhengig av hvilken teknologi man velger er det forskjellige krav til rensing av gass før den går inn på selve oppgraderingsanlegget. Kvalitet av rågass vil også avhenge av hvilke råstoffer som brukes i anlegget.

Ren biometan leveres i rør eller som komprimert gass på flasker (typisk rundt 230 bar), ofte kalt CBG (fra engelsk «Compressed Biomethane Gas»). Det er som oftest flasker satt sammen til batterier på et flak som kan transporteres med krokobil. Typisk rommer et slikt flak ca. 5 000 Nm<sup>3</sup> gass.

Det er også teknisk mulig å transportere rå biogass på samme måte. Den må da delvis renses, uten å fjerne CO<sub>2</sub>. Foreløpig har dette ikke vært testet i forsøk, og kostnadene er per i dag ikke kjent.

På noen store anlegg har man begynt å kjøle ned biometan så den blir flytende. Fordelen med dette er at da får man med mer energi per volumenhet, noe som kan gjøre kostnadene for distribusjon lavere. Flytende biometan kan fraktes nedkjølt (ca. - 163 °C) i tankbiler.

I Norge har man så langt brukt den svenske standarden for gass med drivstoffkvalitet: SS 15 54 38:1999, "Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer". En europeisk standard EN 16723-2:2017 ble publisert i 2017 og vil erstatte nasjonale standarder.

CO<sub>2</sub> som skilles ut ved oppgradering kan ha en verdi i seg selv. CO<sub>2</sub> kan benyttes i drivhus eller til andre formål, eventuelt selges. CO<sub>2</sub> kan transporteres i rør til bruksstedet, eller kan nedkjøles til en væske og transporteres med tankbil. CO<sub>2</sub> må vanligvis renses før den kan brukes. Nødvendig rensing avhenger av

hvilken oppgraderingsteknologi som brukes. Flytendegjøring av CO<sub>2</sub> krever et eget anlegg med kompressor og kjøling og er i praksis bare aktuelt på de store anleggene.

## 2.6. Internt energibruk og varmebehov og hvordan minimere det?

Intern energibruk for biogass-anlegg kan deles i tre

1. Oppvarming av substrat og kompensasjon for varmetap
2. Elektrisitetsbehov pumper, røremotorer m.m.
3. Energibruk for oppgradering. Dette er på nåværende tidspunkt en for kostbar løsning for små anlegg og er ikke beskrevet videre i denne veilederen.

Internt energibehov for små anlegg relativt til produsert energi er betydelig og det er derfor veldig viktig at oppvarmingen er effektiv, at anlegget bygges for å minimere varmetap og at elektrisitetsforbruket begrenses til et minimum.

For intern energibruk så er det vanlig å oppgi dette relativt til energi-innholdet i biogassen som produseres og dette vil variere avhengig av flere faktorer. Se f.eks. Berglund og Børjesson (2006) Fjørtoft et al (2014) om anlegget på Åna og Fjørtoft et al (2014) om anlegget på Tomb og Hushållningssällskapet i Sverige sin vurdering av biogass-anlegg på gårdsnivå (2015) for mer detaljert informasjon.

Under følger en forenklet beskrivelse og ting å passe på når man forholder seg til rådgivere og leverandører av anlegg. Det er behov for oppvarming for å:

- Varme opp substratet til reaktor-temperatur
- Kompensere for varmetap underveis.

På grunn av det høye vann-innholdet som vil være gjeldende for substratene til de fleste anlegg kan vi estimere at varmebehovet til substratet vil tilsvare varmebehovet til vann. Varmekapasiteten for vann er 1,16 kWh/m<sup>3</sup> °C. Ved en gjennomsnittstemperatur på 10 °C på substratet/gjødsel og en mesofil prosess, dvs. reaktor-temperatur på typisk 35 °C vil da energibehovet være ca. 29 kWh for oppvarming av 1 m<sup>3</sup> substrat/gjødsel. Dette vil være tilsvarende høyere ved termofil prosess ved typisk 55 °C. Lavere prosess-temperatur er mulig (se kap 2.1.3). Gjødsel og substrat-temperaturen før oppvarming vil være avhengig av hvordan de lagres. I den grad dette kan kontrolleres kan energibruken begrenses her.

Varmebehovet for oppvarming av substrat er tilnærmet det samme gjennom året. På sommeren er varmebehovet stort sett relatert til oppvarming av substrat. På vinteren kan kompensasjon for varmetap være en større del av varmebehovet enn oppvarming av substrat. Det er viktig å isolere reaktor, rør, fortank, hygieniseringstank og andre komponenter hvor substratet skal holdes varmt. Ikke undervurder varmetap i lange rørstrekk. I lange rørstrekk er risikoen også stor for isdannelse ved kalde perioder. Ta høyde for vind. Tenk skjerming for å begrense varmetap. Reaktoren i et lite anlegg bør derfor isoleres godt, plasseres i konteiner eller evt. hus. Leverandørene må gi tilfredsstillende svar og løsninger på dette når det blir etterspurt.

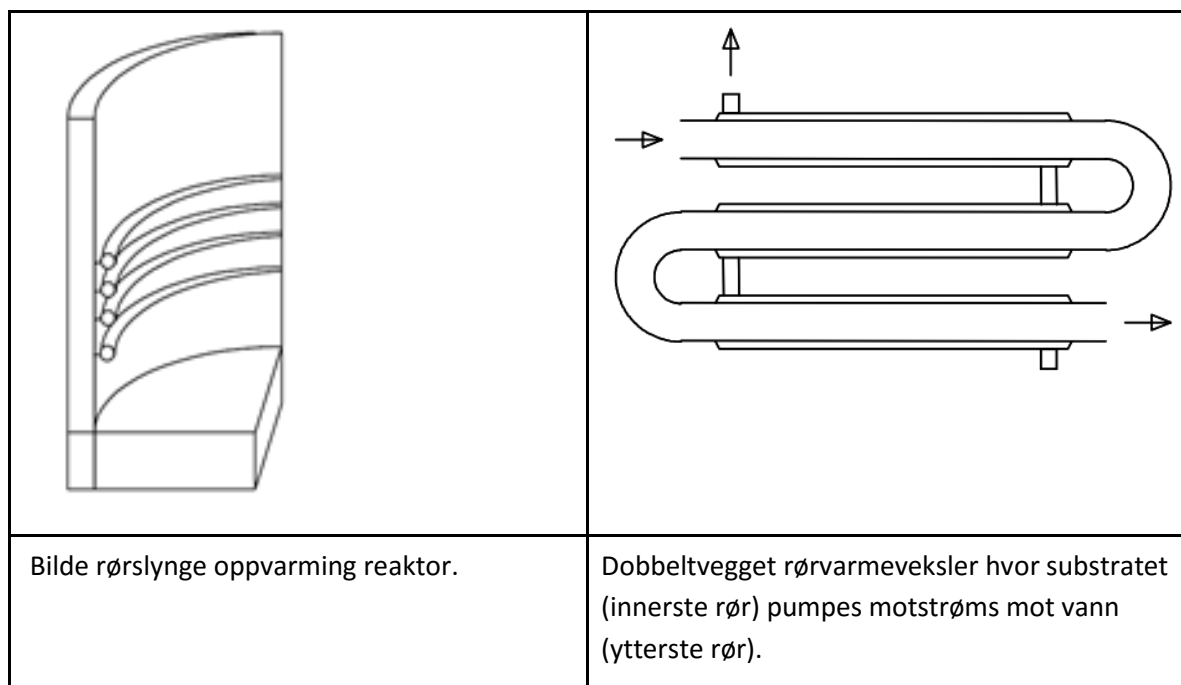
Varmetap i reaktoren er relatert til forholdet mellom høyde/lengde og diameter. For reaktorene som leveres til små anlegg er dimensjoneringen mer et resultat av andre hensyn enn å redusere varmetap,

f.eks. tilpasning av komponenter inne i tanken eller størrelse på tank ift. transport og transportkostnader.

### Oppvarming skjer vanligvis

- I reaktoren etter at substratet er tilsatt.
- I fortank før substratet mates inn i reaktoren.
- Ekstern pumpesløyfe med retur til reaktor

Til oppvarming er det vanlig å bruke egenprodusert gass og oppvarmet vann fra gasskjel eller CHP. Andre alternativer kan være oppvarmet vann fra flis- eller ved-anlegg og elektrisitet. Det er vanlig å varme opp substratet via rørslynger i reaktor eller tank (se figur 5). Ekstern oppvarming i varmeveksler hvor gjødsel veksles motstrøms mot varmt vann i en varmeveksler er en annen måte å gjøre det på (se figur 5). Dersom biogassen er tenkt å gi varme til reaktoren må man ha en alternativ varmekilde under oppstart før man får produsert biogass.



Figur 5. Varmevekslere. Til høyre: deler av fortank eller reaktor. Til venstre: dobbeltvegget rørvarmeveksler.

### Type reaktor, vann og varmebehov/varmetap

Oppvarmingsbehovet og varmetapet for substratet er avhengig av flere faktorer i tillegg til prosess-temperatur, blant annet tørrstoff-innholdet til substratet, oppholdstiden og gassutbyttet. Leverandørene tilbyr typisk tre reaktor-løsninger der disse faktorene varierer.

- Lavt tørrstoff-innhold og kort oppholdstid (UASB / ABR)

- Høyere tørrstoff-innhold og kort oppholdstid (PFR)
- Høyt tørrstoff-innhold og lang oppholdstid (CSTR)

Gjødsel fra gården må tilpasses disse systemene. Høyt vannforbruk i fjøset vil gi lavere TS og at man for biogassanlegget sin del varmer opp vann som ikke gir utbytte i gass. Samtidig er vann-innholdet i stor grad relatert til nedbrytningsgrad og oppholdstid. En kortere oppholdstid vil redusere behovet for å kompensere for varmetap pr m<sup>3</sup> gjødsel/substrat som går gjennom reaktoren. Etterspør tall fra leverandøren og vær sikker på at gjødsel-systemet og vannbruken samsvarer med hva reaktoren skal ha. Er det best å velge en løsning som kan ta den gjødsla du har? Må du tilsette vann? Er det fornuftig å legge om vannbruken eller skille ut vann fra fjøset? Vurder dette også opp mot total mengde biorest etter reaktoren og utstyret du har for å spre gjødsel/bioreest. Dersom gjødsla samles opp i fortank uten tak før den behandles i reaktor, kan regnvann redusere tørrstoffinnholdet.

**Gjenvinning av varmen** i bioresten vil tilbys av de fleste av leverandørene og om man velger det vil være et kost/nytte-spørsmål. I Norge vil man i mange tilfeller kunne få samme pris for varmen som for strømmen, og det vil derfor være aktuelt å ta vare på varmen avhengig av hva behovet er i nærliggende næring og bygg.

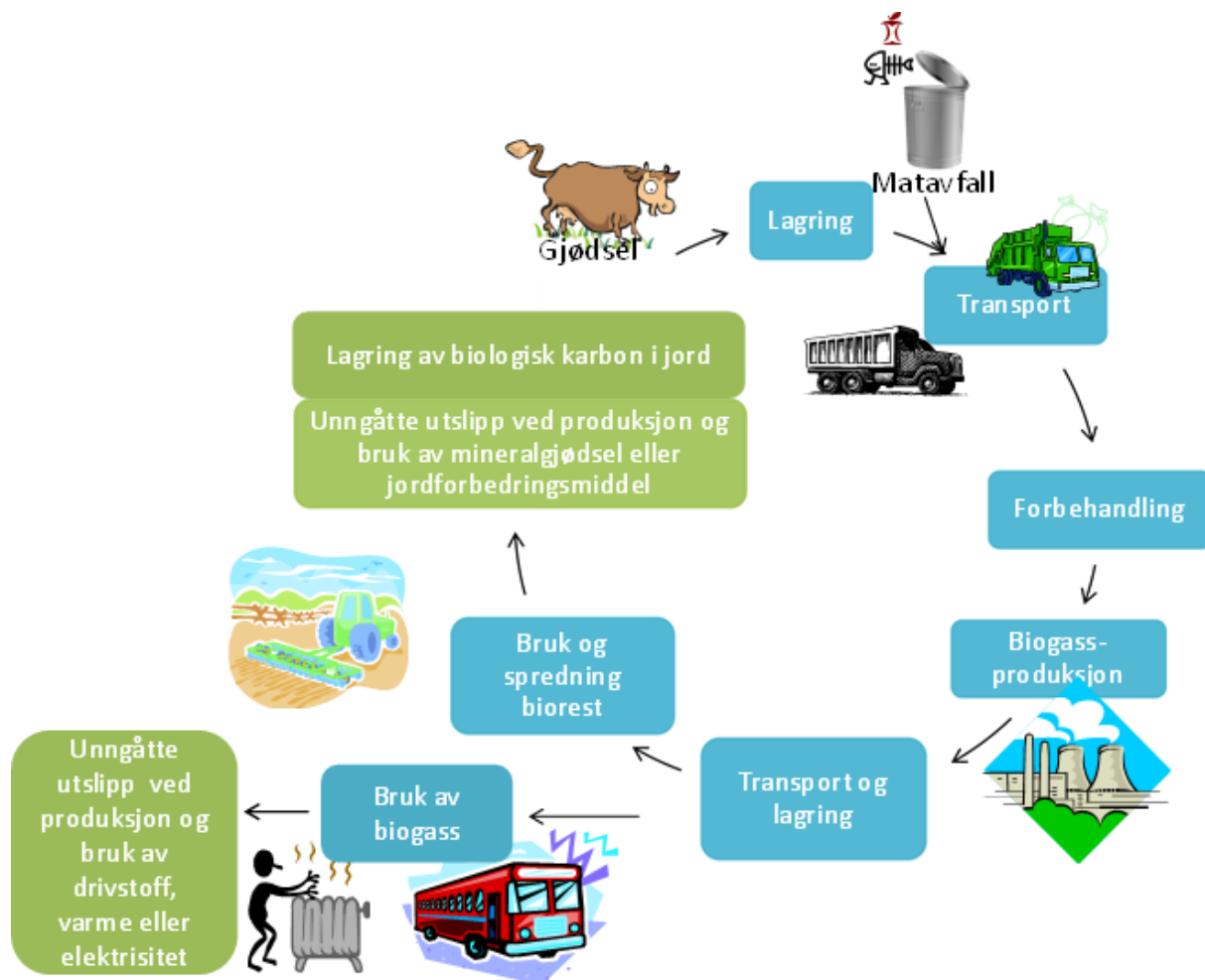
### **Elektrisitetsbehovet**

Elektrisitetsbehovet er knyttet til omrøring av reaktoren, pumping av substrat, kutting av substrat - mekanisk forbehandling (ofte kombinert med pumpe) med mere. For de fleste anlegg så er det omrøring av substratet som krever mest energi og det er for flere av anleggene som er bygd funnet at dette kan reduseres. Etterspør at leverandøren gir deg en løsning som minimerer omrøring. Kutting av substrat er et prosessstrinn som krever en del strøm. Se det i sammenheng med at dette bidrar til økt nedbrytning, lavere oppholdstid og økt gass-utbytte. Etterspør en kost/nytte-vurdering på investering og drift av en slik enhet og reaktor-løsning. I andre enden av skalaen finner du løsninger med konvensjonelle CSTR-reaktorer med lenger oppholdstid som baserer seg på at gjødsla kan flyttes ved hjelp av selvføll, som ikke har kutting av substrat og som har få pumper. Se referansene nevnt ovenfor for mer info om elektrisitetsbruk i biogass-anlegg.

## **2.7. Miljøregnskap**

Biogassproduksjon er et godt tiltak for å redusere klimagassutslipp, og kan dessuten minske utslipp som gir lokal forurensning. Når det skal gjennomføres en mulighetsstudie og når man skal søke om investeringsstøtte, bør det gjøres en individuell vurdering av det planlagte anleggets miljøpåvirkning.



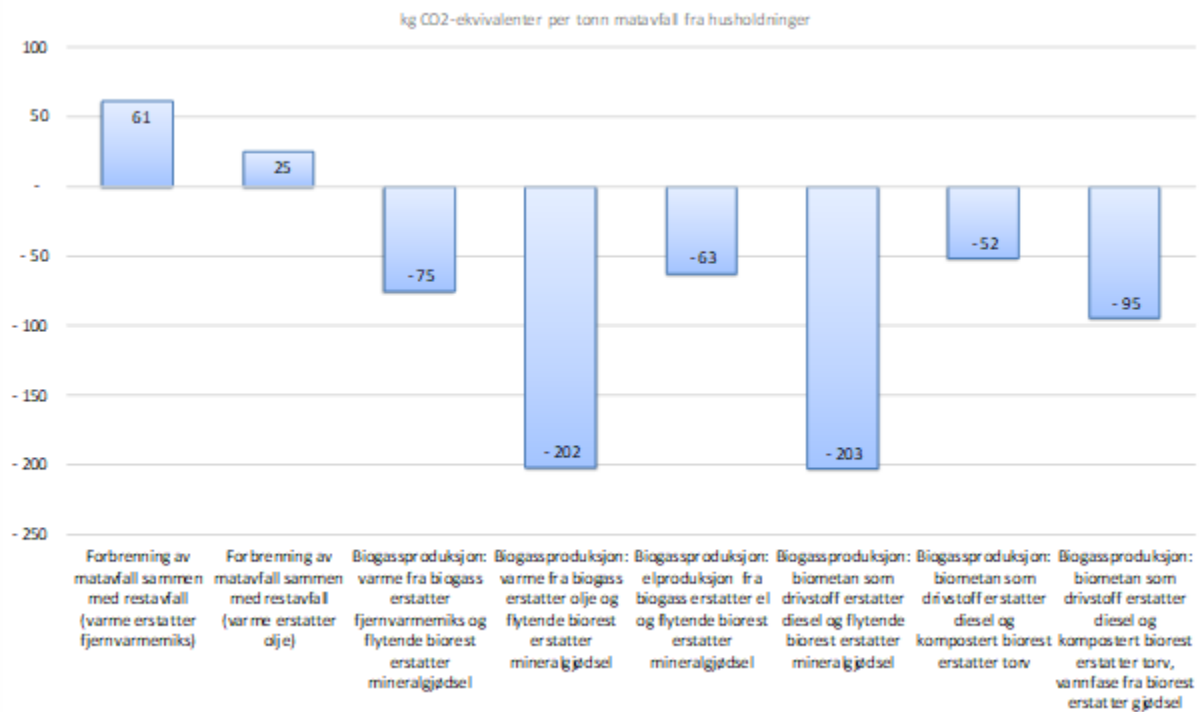


Figur 6. Illustrasjon av en biogass verdikjede.

Når miljønyttene til biogass-verdikjeder skal kvantifiseres, er det viktig å se på energi- og materialbruk og utslipp fra alle de ulike fasene i produksjonen: fra transport og forbehandling til utrætning, videre behandling og bruk av bioresten og bioresten. Når en ser på håndtering av avfall og gjødselressurser, er det vanlig å sammenligne utslippene med alternativ behandling (for eksempel forbrenning sammen med restavfallet for matavfall og direkte bruk av husdyrgjødsel (lagring og spredning) for gjødsel. Det er også vanlig å inkludere nytten ved at bioresten og biogassen kan erstatte andre produkter på markedet, og bidra til å fase ut mindre fornybare alternativer. Dette gjøres ved å trekke fra miljøbelastningen til det alternative produktet.

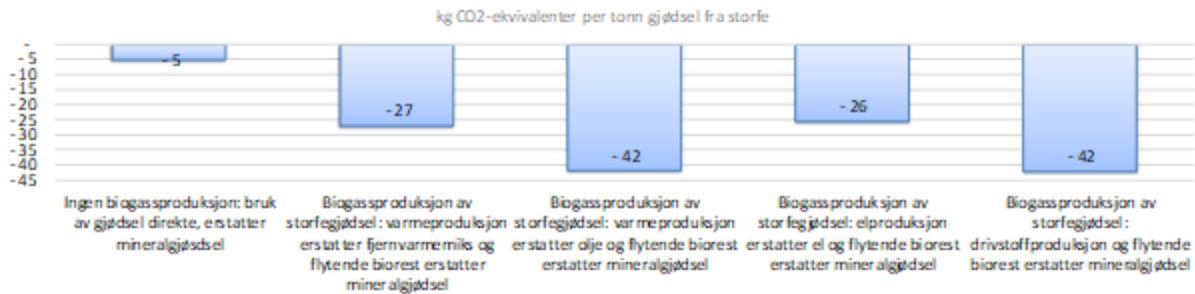
Biogassproduksjon fra matavfall fra husholdning og næring gir reduserte klimagassutslipp sammenlignet med forbrenning eller kompostering. Forskjellen i klimagassutslipp mellom forbrenning og biogassproduksjon vil i stor grad avhenge av hva varmen brukes til ved forbrenning og hva biogassen og bioresten brukes til. Dette er illustrert i grafene nedenfor, som viser klimanytten per tonn råstoff for biogassproduksjon i Norge. Tallene er hentet fra rapporten Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe, og utslippene er oppgitt per tonn våtvekt råstoff (<https://www.ostfoldforskning.no/no/publikasjoner/Publication/?id=1987>).

Det er viktig å være klar over at det bør gjøres individuelle beregninger når man foretar en mulighetsstudie for bygging av et anlegg, fordi lokale forhold har stor betydning. En kan derfor ikke basere seg på gjennomsnittsberegninger.

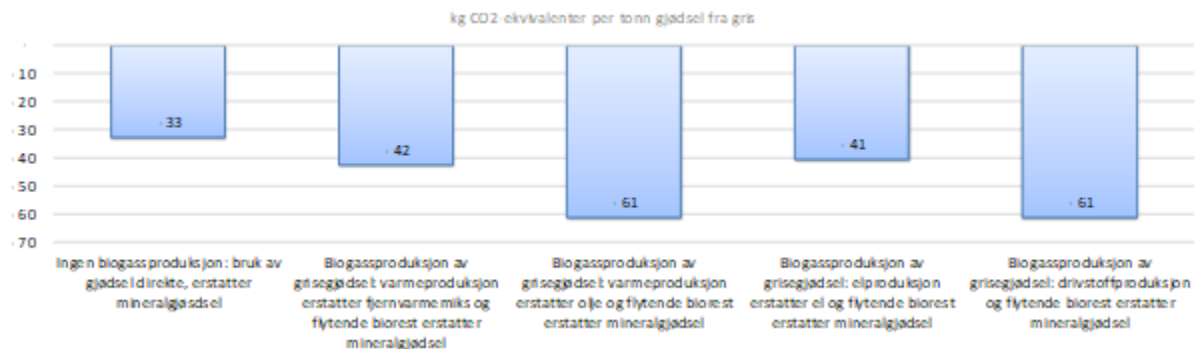


Figur 7. Klimagassutslipp for ulike behandlingsalternativer per tonn matavfall fra husholdninger (Fra Modahl et al. 2016, konvertert fra tonn tørrstoff til tonn våtvekt).

Dersom biogassen brukes til å generere energi (varme eller elektrisitet eller begge), vil miljønyttene avhenge av i hvilken grad biogassen faser ut fossile alternativer. Dersom biogassen brukes til transportformål, er det sannsynlig at den bidrar til å fase ut diesel, noe som gir en god miljøeffekt. Bioresten gir også en klimanytte dersom den kan redusere bruken av mineralgjødsel og jordforbedringsprodukter som inneholder torv, og fordi den fører til karbonlagring i jorda. Biogassproduksjon fra gjødsel gir reduserte klimagassutslipp fordi man forkorter lagringstiden, samtidig som man produserer fornybar energi. Dersom et gårdsanlegg skal brukes til å generere varme til intern bruk på gården, vil klimanyttene avhenge av hva slags varmekilder som benyttes på gården før biogassanlegget bygges og om, som vist i figurene nedenfor. Hvor godt anlegget driftes (utbytte) og hvor mye varme som brukes til intern oppvarming av anlegget har også stor betydning.



Figur 8. Klimagassutslipp for håndtering av storfe gjødsel, per tonn (Fra Modahl et al. 2016, konvertert fra tonn tørrstoff til tonn våtvekt).



Figur 9. Klimagassutslipp for håndtering av gjødsel fra gris, per tonn (Fra Modahl et al. 2016, konvertert fra tonn tørrstoff til tonn våtvekt).

Det er viktig å være klar over at klimagassutslipp representerer én miljøpåvirkningskategori som tar for seg ett miljøproblem. Det kan være aktuelt å inkludere andre miljøpåvirkningskategorier (for eksempel forsuring, overgjødning, partikkelutslipp) når man utfører en mulighetsstudie.

Dersom en ønsker å etablere et anlegg med best mulig miljøeffekt bør man:

- **Sørge for en god bruk av biogassen.** Både hva biogassen brukes til og hvor mye som fakles er av stor betydning. I tilfeller der biogassen erstatter fossile alternativer som diesel i kjøretøy eller varme fra oljekjeler, er gevinsten størst.
- **Sørge for en god bruk av bioresten.** Dersom bioresten kan benyttes som gjødsel i landbruket (i stedet for mineralgjødsel), er dette det gunstigste alternativet.
- **Redusere utslipp av metan og lystgass i alle ledd i verdikjeden.** For eksempel vil en lekkasje av metan fra anlegget gi et stort utslag i klimagassregnskapet. Utslipp fra lagring av gjødsel og fra lagring og spredning av biorest kan også ha stor betydning. Eksempel på tiltak kan være dekke på lageret og å bruke riktig spredeteknikk.
- **Maksimere utbyttet av biogass:** legge til rette for at anlegget driftes på en slik måte at en oppnår høyest mulig utbytte.

## 2.8. Økonomi

Når en mulighetsstudie skal gjennomføres, er det viktig å gjøre en investeringsanalyse for å vurdere lønnsomheten til prosjektet. En slik studie vil være litt forskjellig avhengig av om det er snakk om et stor- eller småskala anlegg, men det er noen fellestrekk. Nedenfor vises en liste over aspekter som kan påvirke økonomien til et anlegg.

1. **Råvaretilgang:** Hvilke råvarer har du tilgang til? Hvilke kostnader og inntekter er det knyttet til disse? Hvor mye biogass kan råvarene potensielt produseres?
2. **Avsetning av biogassen:** Hva skal biogassen brukes til? Hvilke inntekter (salgspris) eller unngåtte kostnader (alternativkostnad) kan biogassen brukes til?
3. **Avsetning av bioresten:** Hva skal bioresten brukes til? Hvilke kostnader eller inntekter vil bioresten bidra med?
4. **Støtteordninger:** Hvilke støtteordninger kan du søke om?
5. **Hvor skal anlegget ligge?** Grunnforhold, eksisterende infrastruktur og nærhet til gassrørledning, gårder og industri kan påvirke tilgang til råvarer, avsetningsmuligheter for biogass og biorest og dermed påvirke kostnader.
6. **Investeringskostnader og driftskostnader.** Hva koster et anlegg, hvilke grunnarbeider er nødvendig. Hva vil det koste å drifte et anlegg og hva slags vedlikeholdskostnader må du regne med?

Basert på informasjonen ovenfor kan det gjøres en investeringsanalyse. Investeringsanalysen bør ta høyde for at det kan oppstå uforutsette utgifter under bygging, oppstart og drift. Nedenfor gis en litt mer detaljert beskrivelse av punktene over for et storskala-anlegg og et gårdsanlegg.

### 2.8.1. Gårdsanlegg

Det anbefales å ta kontakt med eksisterende anlegg for å innhente informasjon og utveksle erfaringer.

1. **Råvaretilgang:** Kartlegg mengder råvarer på gården (og eventuelt omkringliggende gårder og bedrifter hvis relevant). Beregn mengde biogass råvarene potensielt kan produsere (se Kapittel 2.2 om aktuelle substrater og blandingsforhold og kapittel 1.10 om måleenheter og omregning). Det er viktig å ha et realistisk bilde av hvor mye utbytte man kan regne med, og å inkludere konverteringstap ved generering av varme og elektrisitet. For eksempel kan en ikke regne med tilgang på gjødsel i sommermånedene hvis dyrene er på beite.
2. **Avsetning biogassen:** Skal biogassen brukes til å produsere energi til eget forbruk, eller ligger gården i nærheten av rørledninger eller andre aktører som kan være interessert i gassen? Dersom du skal bruke biogassen til å produsere energi til eget forbruk: Kartlegg det nåværende energibehovet og de nåværende kostnadene for å beregne sparte kostnader ved bygging av et biogassanlegg.
3. **Avsetning av bioresten:** Kan du bruke eksisterende spredeutstyr og lager, eller må det investeres i nytt?
4. **Støtteordninger:** Du kan søke investeringsstøtte fra Innovasjon Norge og tilskudd for levering av gjødsel til biogassanlegg. Les mer om støtteordninger i Kapittel 3.3 Virkemidler.
5. **Hvor skal anlegget ligge?** Hva kan du bruke av eksisterende lager og annen infrastruktur. Hvordan er grunnforholdene? Hva er avstanden til spredearealer og hvordan skal gjødsel og biorest transporteres dit?

6. **Investeringskostnader og driftskostnader:** Innhent informasjon fra tilsvarende anlegg og teknologileverandører for å undersøke investerings og driftskostnader. Undersøk lånebetingelser slik som rente og nedbetalingstid for å beregne årlige avdrag fra investeringskostnadene.

Erfaring viser at det kan være lurt å kalkulere med opplæring/konsulenthjelp og uforutsette utgifter knyttet til innkjøring av anlegg og ved driftsproblemer.

### 2.8.2. Storskalaanlegg

For storskalaanlegg kan det være nyttig å leie inn en konsulent som har erfaring med tilsvarende mulighetsstudier.

1. **Råvaretilgang:** Hvilke råvarer skal biogassanlegget behandle? Hvilke inntekter kan råvarene generere? Hvilke kostnader er knyttet til råvarene? Kreves det forbehandling for noen eller alle råvarene?
2. **Avsetning biogassen:** Skal biogassen oppgraderes? Hvilke aktører er aktuelle kjøpere og hvilken pris er det realistisk å få for gassen?
3. **Avsetning bioresten:** Skal bioresten benyttes flytende, eller skal den avvannes? Hvem skal bruke bioresten? Det er viktig å komme tidlig i kontakt med eventuelle brukere av bioresten og diskutere avtaler og hvem som skal dekke kostnader. Det er foreløpig få eksempler på anlegg der bioresten representerer en inntekt.
4. **Støtteordninger:** Storskalaanlegg kan søke om investeringsstøtte fra Enova. Se Kapittel 3.3 Virkemidler.
5. **Hvor skal anlegget ligge** og hvilken betydning har det for kostnader og inntekter: Hvordan er eksisterende infrastruktur, grunnforhold og avstand til brukere av biogass og biorest?
6. **Investeringskostnader og driftskostnader:** Innhent informasjon fra tilsvarende anlegg og teknologileverandører for å undersøke investerings og driftskostnader. Undersøk lånebetingelser slik som rente og nedbetalingstid for å beregne årlige avdrag fra investeringskostnadene. Forbehandling av matavfall representerer en vesentlig investeringskostnad og kan gi betydelig økning i driftskostnader som følge av uforutsette hendelser.

Lenker:

Benchmarkingstudie effektivare biogassproduktion:

<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22218/benchmarking-for-effektivare-biogassproduktion-energiforskrapport-2017-353.pdf>

## 3. Prosjektering

### 3.1. Plassering av reaktorer etc, frostsikring og annet praktisk

For store anlegg som bygges for å behandle matavfall og andre råstoff vil det vanligvis etableres en egen prosjektorganisasjon med nødvendig fagkompetanse for å bygge anlegg.

Dette avsnittet tar for seg en del momenter for dem som planlegger mindre anlegg, enten det nå er et anlegg for én gård, eller et lokalt anlegg for én eller flere gårder eller andre som har egnet råstoff til biogass. Regelverket omtales i eget avsnitt.

Det må være nødvendige arealer for lagring både av råstoff og ferdig produsert biorest. Det må også være areal (vei, losse- og lasteplass, snuplass) for transport til og fra anlegget. Infrastruktur som strøm (enfase eller trefase, 230 eller 400 V), vann, internett, rør for råstoff og biorest. Areal for håndtering av gass (gasslager, kjel, rørledning, kraftvarmeverk, oppgradering). Areal for bygninger for dette. Biogass er en brennbar og eksplosiv gass og regelverket med tanke på sikkerhetsavstander må tas hensyn til ved arealplanlegging. Sikkerhetsavstander er avhengig av hvor mye gass man produserer, se også avsnitt nedenfor om DSB. Deler av anlegget kan ha behov for inngjerding og beskyttelse mot påkjøring.

Rør, reaktor og tanker kan med fordel plasseres slik at man minimerer behov for pumping. Det må også tenkes gjennom om man kan få noen uønskede heverteffekter i anlegget, noe som må unngås. I Norge er frostsikring viktig. Rør, pumper og reaktor må sikres mot frost. Rørstrekk kan, med fordel gjøres så korte som praktisk mulig. Rå biogass produseres ved 35 C eller mer og inneholder betydelig mengde fuktighet, over 40 g/Nm<sup>3</sup> gass. Ved nedkjøling blir dette til vann som kan fryse til is og blokkere gassrør, måleutstyr osv. Fakkell for brenning av eventuelt overskudd gass må også bygges og monteres med tanke på frost.

Lukt fra biogassanlegg vil være sjenerende for naboer. Plasseringen både av lagre og reaktorer bør gjøres med tanke på dette. Det er krevende å bygge slik at anlegget blir luktfritt, og anlegget bør derfor ha passe avstand fra annen bebyggelse, avhengig av lokale geografiske forhold og vindretning. På større anlegg er det vanlig med lukkede haller med avtrekk til luktfjerningsanlegg. Gårdsanlegg vil ofte også ha lagre for husdyrgjødsel. Grisemøkk lukter mer enn kumøkk, men på ubehandlet møkk vil det ofte dannes en skorpe som reduserer lukt. Grisemøkk som er omdannet til biorest vil normalt ikke ha skorpe. I prosessen brytes organiske stoffer som danner lukt ned, så lukten fra disse blir mindre. På den annen side dannes det ammoniakk og hydrogensulfid som lukter. Lukten endrer derfor karakter. Tak over gjødselkummer og lagre kan bidra til å redusere lukten. Slike tak vil også redusere mengden regnvann som kommer inn i systemet, noe som kan være positivt. Det er flere eksempler på at naboer har protestert på bygging av biogass-anlegg fordi de frykter lukt og mer trafikk.

Man skal være oppmerksom på om det kan være metan i gassen i slike tildekkede lagre og vurdere behovet for målinger og sikkerhetstiltak.

## 3.2. Regelverk og tillatelser generelt

### 3.2.1. Mattilsyn

I Norge stilles det en rekke krav til bruk av organisk gjødsel, regulert gjennom flere forskrifter som håndheves av Mattilsynet. Sentralt står den norske Gjødselvereforskriften som stiller krav til gjødselverdi og risiko knyttet til mulig spredning av miljøskadelige stoffer. Forskriften om animalske biprodukter stiller krav til hygiene ved bruk av gjødsel med opphav i animalske biprodukter, for eksempel matavfall, slakteriavfall og husdyrgjødsel. I tillegg finnes det spesielle forskrifter som skal sikre at det ikke spres plantesykdommer, for eksempel floghavre (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-22-752>) og mot potetystematoder, løkhvitråtesopp mm. (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2000-12-01-1333>). Forskriften omhandler mange mulige plantesmittebærere, flere enn vi kan omhandle i denne veileder. Man må være spesielt oppmerksom ved behandling av organisk avfall fra industriell behandling av frukt og grønnsaker, importert frukt, grønt og annet plantemateriale samt mulig infisert hage- og parkavfall.

#### 3.2.1.1. Gjødselvereforskriften (Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav)

Forskriften skal sikre at gjødselvarer av organisk opphav kan omsettes på en redelig måte og brukes samtidig som hensynet til miljø, folkehelse, dyrehelse og plantehelse ivaretas (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>). Biorest fra biogassanlegg faller således inn under denne forskriften. Mattilsynet (distriktskontorene) er tilsynsmyndighet for tilvirkning og omsetning av produkter, samt forbrukerkontakt. I tillegg er Mattilsynet (Nasjonalt senter, Ås) ansvarlig for registrering av gjødselvarer for hele landet. Det er verdt å merke seg at Vitenskapskomiteen for mattrygghet i tillegg har utarbeidet en egen hygienevurdering for fiskeslam til bruk som gjødsel eller jordforbedringsmiddel (VKM, 2011).

*Det er således alltid viktig å avklare med det lokale Mattilsyn før endelige avgjørelser tas.*

For gjødselvarer produsert av avfall eller husdyrgjødsel er det krav til hygienisk kvalitet og innhold av miljøgifter. Det er verdt å presisere at kvalitetskravene og bruksbestemmelsene er utformet med tanke på trygg bruk av gjødselvarer, ikke ut fra gjødselverdien.

#### **Tungmetaller**

Gjødselvarer deles inn i kvalitetsklasser etter innhold av tungmetallene kadmium, bly kvikksølv, nikkel, sink, kobber og krom.

*Gjødselvereforskriften er under revisjon og vil bli lagt ut på høring høsten 2017. Siden en ikke kan forutsi behandlingen av forskjellige innspill og merknader i høringsrundene, bør man være varsom med å legge dagens regelverk til grunn for fremtidige valg av løsninger.*

Kvalitetsklassen bestemmer i sin tur hvor stor mengde som kan spres og om de kan brukes på jordbruksarealer. En gitt mengde tørrstoff kan spres over en tiårsperiode. Bruksbegrensningene er gitt

for å begrense tilførselen av tungmetaller og er ikke alltid nødvendigvis agronomisk optimale. I tillegg til begrensninger som gitt på bakgrunn av innhold av tungmetaller, er det også begrensninger gitt ut fra hva slags opphavsmateriale gjødselvarer er produsert av. For å hindre at råvarer med høyt innhold av tungmetaller tas inn i produksjon av en gjødselvarer, settes det krav til tungmetaller i råvarene. For et produkt i klasse 0, I eller II, må tungmetallinnholdet i råvarene ikke være høyere enn klasse II og for et produkt i klasse III, må tungmetallinnholdet i råvarene ikke være høyere enn klasse III.

Det er verdt å merke seg at mange typer husdyrgjødsel har et innhold av tungmetaller (hovedsakelig kobber og sink) som i utgangspunktet gir kvalitetsklasse I eller II. Svinegjødsel kan i enkelte tilfeller være i kvalitetsklasse III på grunn av sinkinnholdet.

Jordkvalitetskriteriene i forskriften skal sikre at dyrka jord med høyt innhold av tungmetaller ikke tilføres ytterligere tungmetaller med slam og annet organisk avfall. Dette er en aktuell problemstilling i flere områder i landet der det naturlige jordsmonnet har forhøyet innhold av enkelte tungmetaller.

*Det må presiseres at dersom det benyttes rene råvarer (kvalitetsklasse 0), så er ikke disse kvalitetsklassene noe problem med hensyn til bruk av biorest som gjødsel.*

### **Avløpsslam**

Gjødselvarerforskriften stiller helt spesielle krav til gjødselvarer som inneholder eller baserer seg på avløpsslam. Dette innebærer at dersom avløpsslam inngår som råstoff vil forskriften legge strenge begrensninger på etterbruken av bioresten. Dette er det viktig å være klar over.

### **Organiske miljøgifter, plantevernmidler mv.**

For organiske miljøgifter, plantevernmidler, antibiotika/kjemoterapeutika og andre miljøfremmede organiske stoffer er det ikke satt grenseverdier i forskriften. Konsentrasjonen av slike forurensninger er generelt lavt, og det er derfor ikke krav til å gjennomføre rutinemessige analyser på det enkelte produkt. For spesielle avfallsfraksjoner kan det være aktuelt å gjøre analyser og risikovurdering med hensyn på innhold av miljøfremmede stoffer.

Uavhengig av dette er det produsentens plikt å være oppmerksom på forhold som kan påvirke innholdet av miljøgifter i vesentlig grad, og iverksette tiltak for å hindre at gjødselråvarer som kan utgjøre risiko, omsettes.

### **Hygienisk kvalitet**

Produkter skal ikke føre med seg sykdomssmitte som kan overføres til mennesker, dyr eller planter. Produktene skal ikke inneholde infektive parasittegg eller Salmonella. For øvrig reguleres hygieniske krav knyttet til smittefare hos mennesker og dyr i «Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum» (ofte omtalt som «Animaliaforskriften» eller «Biproduktforskriften»).

### **Stabilitet**

Gjødselvarer skal være stabilisert, slik at de ikke gir luktulempere eller andre miljøproblemer ved lagring og bruk. Biogassbehandling er i så måte en form for stabilisering.



### **Spiredyktige frø**

Enkelte avfallstyper kan inneholde floghavre. Dette er et ugress som det gjøres en rekke tiltak for å redusere utbredelsen av (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-22-752>). Dersom råvarer kan inneholde floghavrefrø, må det behandles på en måte som ødelegger floghavrefrøets spireevne. Floghavreregistre forvaltes av Mattilsynet.

### **Fremmedlegemer**

Med fremmedlegemer menes rester av plast, glass og metall som finnes i produktet. Vanligvis vil glass og metall fjernes gjennom forbehandling og under prosess, mens mikroplast kan passere. Det gjøres nå omfattende undersøkelser for å avdekke om dette kan være en relevant problemstilling for biogassanlegg som behandler matavfall.

### **Krav til internkontrollsystem for produsenter av gjødselvarer (herunder biogjødsel)**

Systemet skal inneholde en oversikt over organisering og ansvar, risikokartlegging og risikoreduserende tiltak, rutiner for å avdekke og rette opp overtredelser og hindre gjentakelser og rutiner for systematisk gjennomgang av internkontrollsystemene. Ansvarlig firma er ansvarlig overfor Mattilsynet for å sikre at internkontrollbestemmelsene overholdes, også i de tilfellene hvor ansvarlig firma ikke selv er produsent.

#### 3.2.1.2. Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum («Animaliaforskriften» eller «Biproduktforskriften»)

Dette regelverket ([https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064/\\*#\\*](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064/*#*)) ble først etablert som en EU-forordning, noe som innebærer at den måtte implementeres ordrett i norsk regelverk som en del av EØS-avtalen. Kugalskap-epidemien i Europa på 90-tallet var den direkte foranledningen til at regelverket ble etablert. Kannibalismeforbudet i forskriften som forbyr å føre en dyreart med bearbeidet animalsk protein fra samme dyreart har sin opprinnelse i denne skandalen.

Animalske biprodukter er hele kropper eller deler av dyr som ikke skal brukes til konsum, for eksempel slakteriavfall, matavfall fra restauranter og husholdninger samt matavfall fra butikker som kan inneholde «kjøtt- og fiskerester» samt husdyrgjødsel. Slikt avfall kan ha smitte. Dersom det ikke er benyttet til konsum på grunn av et høyt innhold av miljøgifter, kan det dessuten utgjøre en risiko for miljøet. Samtidig utgjør dette en ressurs som bør kunne utnyttes på en trygg måte. Alle som håndterer slikt materiale har en plikt til å sikre at materialet håndteres i samsvar med bestemmelsene i forskriften. Mattilsynet har utarbeidet en kortfattet oversikt over typer biproduktvirksomheter og behandlingsmetoder som kan være nyttig <

[https://www.mattilsynet.no/om\\_mattilsynet/gjeldende\\_regelverk/veiledere/oversikt\\_over\\_typer\\_biproduktvirksomheter\\_og\\_behandlingsmetoder.24684/binary/Oversikt%20over%20typer%20biproduktvirksomheter%20og%20behandlingsmetoder](https://www.mattilsynet.no/om_mattilsynet/gjeldende_regelverk/veiledere/oversikt_over_typer_biproduktvirksomheter_og_behandlingsmetoder.24684/binary/Oversikt%20over%20typer%20biproduktvirksomheter%20og%20behandlingsmetoder)>

I tillegg har Mattilsynet utarbeidet en egen «Veileder Animalske biprodukter» <  
[https://www.mattilsynet.no/sletting/veileder\\_animalske\\_biprodukter\\_10692009\\_og\\_1422011.17525/binary/Veileder%20animalske%20biprodukter%20\(1069-2009%20og%20142-2011\)](https://www.mattilsynet.no/sletting/veileder_animalske_biprodukter_10692009_og_1422011.17525/binary/Veileder%20animalske%20biprodukter%20(1069-2009%20og%20142-2011))>

### **Inndeling av animalske biprodukter i 3 risiko-kategorier**

Avfallet deles inn i 3 risiko-kategorier. Kravene med hensyn til hva man kan gjøre med avfallet er avhengig av hvilken kategori det faller inn under. Likeledes stilles det forskjellige krav til forbehandling/hygenisering, avhengig av Kategori:

Kategori 1 er den høyeste risikokategorien og omfatter materiale som det anses viktig å holde langt unna matkjeden. Slikt materiale omfatter for det første dyr eller deler av dyr som mistenkes å være angrepet av TSE eller forurenset av forbudte listeførte stoffer. TSE står for «Transmissible Spongiform Encefalopathies» og er overførbare nervesykdommer som skyldes prioner. Eksempler er Creutzfeldt-Jacob sykdom hos menneske, kugalskap hos storfe, scrapie hos småfe (funnet hos sau i Norge) og Chronic Wasting Disease (CWD) hos ville dyr, for første gang påvist hos reinsdyr i Norge i 2016.

I tillegg omfatter Kategori 1 blant annet:

- Kjøledyr, samt dyr fra dyrehager og sirkus
- Forsøksdyr
- Ville dyr når de mistenkes smittet med sykdom overførbart til mennesker eller dyr
- Spesifisert risikomateriale (SRM)\*
- Animalsk materiale som inneholder forbudte stoffer og visse fremmedstoffer over tillatt nivå
- Animalsk materiale som er samlet inn ved behandling av spillvann fra bearbeidingsanlegg for kategori 1 materiale og andre virksomheter hvor SRM fjernes
- Kjøkken- og matavfall fra transportmidler i internasjonal trafikk

\*Med SRM menes kraniet, unntatt underkjeven, men med hjernen og øynene, samt ryggmargen fra storfe som er eldre enn 12 måneder. Kraniet, herunder hjernen og øynene, mandlene og ryggmargen fra sauer og geiter som er eldre enn 12 måneder, eller som har en frambrutt blivende fortann, og milt og ileum fra sauer og geiter uansett alder. Dersom dyret er importert fra land som ikke har ubetydelig risiko for å ha BSE, må utvidet SRM-liste og flere prosedyrer følges.

*Kategori 1 materiale skal i hovedsak destrueres gjennom forbrenning (eller alternativt absolutt sikker behandling) og er ikke aktuelt som substrat til biogassanlegg.*

Kategori 2 materiale regnes også som høyrisikomateriale og omfatter:

- Husdyrgjødsel\* og innhold fra fordøyelseskanalen
- Animalsk materiale samlet inn ved behandling av spillvann fra andre slakterier enn de som fjerner SRM eller for bearbeidingsanlegg for kategori 2
- Animalske biprodukter som inneholder restmengder av legemidler eller forurensende stoffer, dersom restmengdene overstiger tillatt grenseverdi for mat
- Produkter av animalsk opprinnelse som er erklært uegnet til konsum på grunn av innhold av fremmedlegemer
- Produkter av animalsk opprinnelse, med unntak av materiale i kategori 1, som er importert fra tredjestater og som ikke oppfyller veterinærkravene for import

- Dyr og deler av dyr som dør på annen måte enn ved slakting for konsum, herunder dyr som er avlivet for å utrydde en epizooti
- Produkter erklært uegnet for konsum på grunn av forekomst av fremmedlegemer

\*Husdyrgjødsel er definert som alle ekskrementer og/eller urin fra andre produksjonsdyr enn oppdrettsfisk, med eller uten strø. Vitenskapskomiteen for mattrygghet har utarbeidet en egen hygienevurdering for fiskeslam til bruk som gjødsel eller jordforbedringsmiddel (VKM, 2011).

I tillegg til det som listes opp som materiale i kategori 2 regnes alt animalsk materiale som verken skal anses som kategori 1 eller 3 som kategori 2. Kategori 2 er således en samlekategori for materiale som ikke er omfattet av en forhåndsdefinert kategori.

I forskriftens Vedlegg IV «Bearbeiding», Kapittel III «Standardmetoder for bearbeiding» er det angitt 7 forskjellige bearbeidingsmetoder. Kategori 2 materiale må som hovedregel trykksteriliseres (Standardbearbeidingsmetode 1) før det komposteres eller omdannes til biogass. Noe forenklet innebærer dette at materialet skal deles opp slik at partikkelstørrelse skal være maksimalt 50 millimeter etterfulgt av en oppvarming til kjernetemperatur på 133 grader Celsius i minst 20 minutter under et trykk på 3 bar.

I samme vedlegg (Vedlegg IV), men Kapittel IV «Alternative metoder for bearbeiding» finner vi under avsnitt 2, pkt. K metode for «Ensilering av fiskemateriale». Når det gjelder fiskeensilasje kan dette hygieniseres ved å sikre en pH på 4 eller lavere over minst 24 timer og deretter varmes til 85 grader Celsius i minst 25 minutter og med en partikkelstørrelse på maks 10 mm.

I forskriftens kapittel IV «Utfyllende nasjonale bestemmelser om avhending og bruk av biprodukter» omhandler paragrafene 7 til 11 spesielle krav/unntak til kravet om trykksterilisering og merkebestemmelser for biogassanlegg. Dette gjelder spesielt husdyrgjødsel, fordøyelseskanaal fra fjørfe og gris (med eller uten innhold), melk, melkebaserte produkter og råmelk. Husdyrgjødsel og innhold fra fordøyelseskanaal som spres på jorder uten forutgående hygienisering skal ha sin opprinnelse i det fylket den skal brukes. Det kreves tillatelse fra Mattilsynet for å bruke slike biprodukter fra et annet fylke. Det er en del forutsetninger og spesielle regler for husdyrgjødsel fra pelsdyr og husdyrgjødsel fra slakterier. Unntak gjelder ikke ved risiko for spredning av alvorlige smittsomme sykdommer. Vi anbefaler at det lokale Mattilsynet rådføres i forbindelse med krav knyttet til hygienisering og etterbruk av husdyrgjødsel siden så mange hensyn trekkes inn i regelverket, og siden også Gjødselvareforskriften er av stor betydning her.

Kategori 3 materiale regnes som lavrisikomateriale og kan tillates benyttet i matkjeden som fôr til matproduserende dyr. Materialet omfatter for det første dyr eller deler av dyr egnet for konsum, men som av kommersielle grunner ikke skal benyttes til konsum. I tillegg omfattes:

- Deler av slaktede dyr som er erklært uegnet for konsum, men som ikke viser tegn til sykdommer som kan overføres til mennesker eller dyr.

- Huder og skinn, hover/klover og horn, grisebuster og fjær fra dyr som er slaktet på et slakteri og som er funnet egnet til å slaktes for konsum.
- Blod fra andre dyr enn drøvtyggere, som er slaktet på et slakteri og funnet egnet til konsum.
- Animalske biprodukter fra fremstillingen av produkter beregnet på konsum, herunder avfattede bein og fettgrever.
- Produkter av animalsk opprinnelse eller næringsmidler av animalsk opprinnelse som ikke lenger er beregnet på konsum av kommersielle grunner.
- Kjæledyrfôr og annet fôr av animalsk opprinnelse eller som inneholder animalske biprodukter, og som ikke lenger er beregnet til fôr av kommersielle grunner.
- Blod, placenta, ull, fjær, hår, horn, hover/klover og råmelk fra dyr som ikke har vist noen tegn til sykdommer som kan overføres til mennesker eller dyr.
- Akvatiske dyr og deler av slike dyr, unntatt sjøpattedyr, som ikke har vist tegn til sykdommer som kan overføres til mennesker eller dyr.
- Animalske biprodukter fra akvatiske dyr som har oppstått i virksomheter som produserer produkter for konsum.
- Kjøkken- og matavfall fra privathusholdninger og storhusholdning.

#### Blandinger av ulike kategorier

Om materiale fra ulike kategorier blir blandet vil blandingen måtte håndteres i samsvar med den høyeste risikokategorien som blandingen inneholder.

Kategori 3 materiale må som hovedregel omdannes/hygieniseres ved minst 70 grader Celsius i minst 1 time og med en partikkelstørrelse på høyst 12 mm. Det er en åpning for at myndighetene kan godkjenne andre behandlinger, forutsatt at den som søker, viser at deres metode sikrer tilstrekkelig reduksjon av biologisk risiko. Dokumentasjonen skal omfatte en validering som skal utføres i samsvar med krav satt i forskriften.

Forskriften omhandler også en rekke krav og presiseringer med hensyn til hva et biogassanlegg skal være utstyrt med, krav til godkjenning, krav til transport og lagring, merking av produkter, hygienekrav til biogjødsel og kompost, prøvetaking for analyser og dokumentasjon etc. Forskriftens vedlegg V «Omdanning av animalske biprodukter og avledede produkter til biogass eller kompost» er i denne sammenheng spesielt relevant.

*Forskriften er svært omfattende, med mange unntak, presiseringer og henvisninger. Det som er omtalt her er derfor svært mangelfullt, men er ment å gi et innblikk i dette regelverket. Det er nødvendig å sette seg grundig inn i akkurat det som gjelder egne planer og egen situasjon, og også avklare dette med det lokale Mattilsyn før endelige beslutninger tas.*

### 3.2.2. DSB

DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) har gitt ut en veileder som omhandler biogassanlegg.

<https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/farlige-stoffer-npf/farlige-stoffer/tilvirkning-og-behandling-av-farlig-stoff.pdf>

Som det fremgår av veilederen er det krav til kompetanse for de som skal prosjektere og bygge anlegg, og til kontrolltiltak.

Figur 10 for saksgang vises i neste avsnitt.

Biogassanlegg skal meldes inn til DSB. Det gjøres i Altinn.no. Merk at 400 liter biogass utløser meldeplikt. Vi har i kontakt med DSB forstått det slik at hele reaktorvolumet for en biogassreaktor skal regnes med, også den delen som normalt er fylt med væske. Det vil si at i praksis er de aller fleste anlegg meldepliktig.

### 3.2.3. Plan og bygningslov, kommunale tillatelser

Plan- og bygningslovens fjerde del omhandler søkedelen for byggesaker i kapittel 20. Merk at visse deler av Plan- og bygningsloven fjerde del gjelder ikke når Brann- og eksplosjonsvernloven gjelder. Det er derfor et samspill mellom DSB og kommunens kompetanseområder. Temaveiledning om bruk av farlig stoff (juli 2015) har en nyttig figur i vedlegg 1 (se figur 10 nedenfor).

[https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/farlige-stoffer-npf/industrisikkerhet/temaveiledning\\_bruk\\_av\\_farlig\\_stoff\\_del\\_1.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/farlige-stoffer-npf/industrisikkerhet/temaveiledning_bruk_av_farlig_stoff_del_1.pdf)

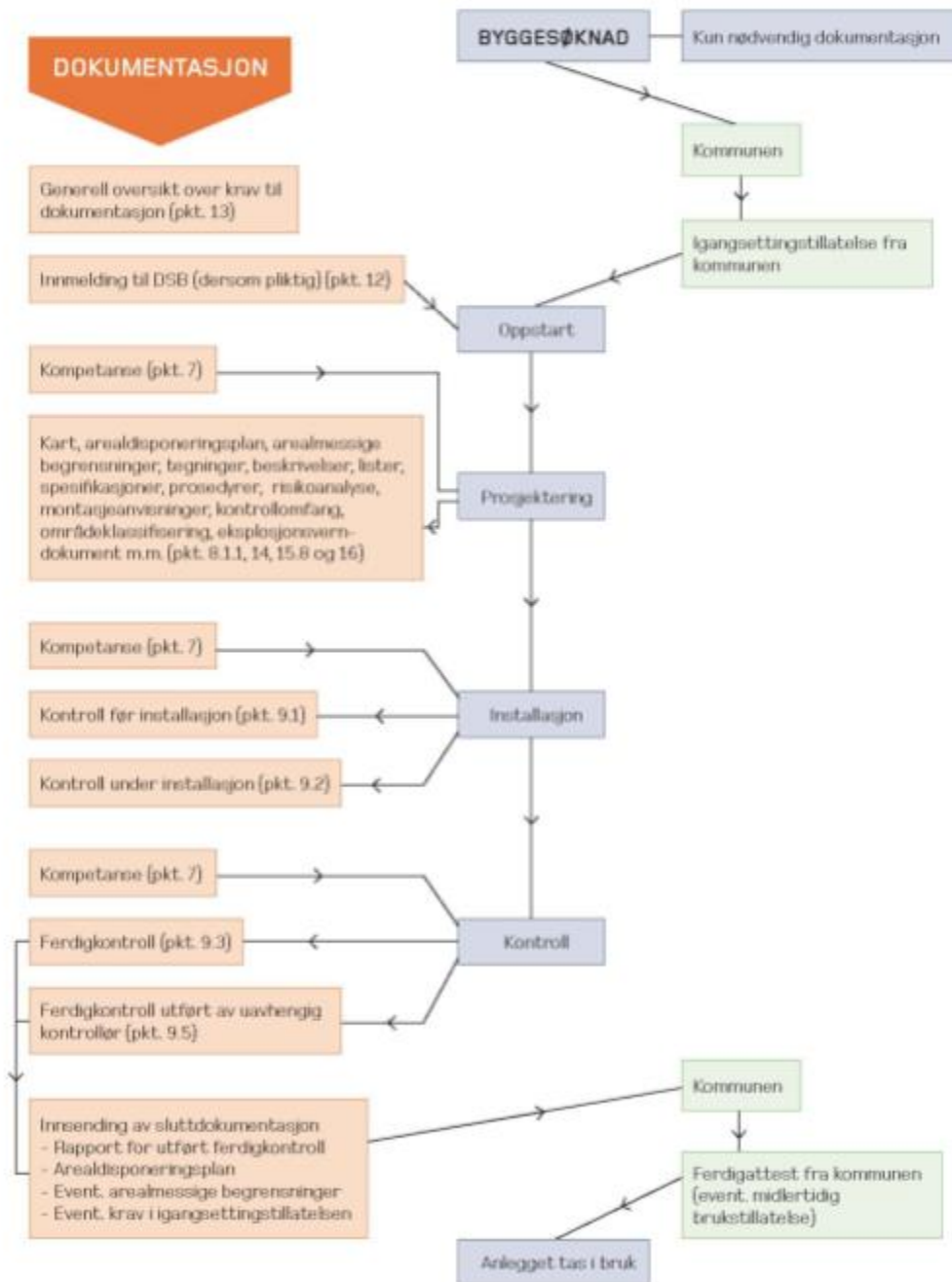
De viktige punktene når det gjelder kommunen er:

- Igangsettingstillatelse i henhold til Plan og bygningsloven
- Midlertidig brukstillatelse og/eller ferdigattest

Brannvesenet i kommunen vil få melding når anlegget er meldt inn via Altinn.no

**SAKSGANG FOR SØKNADSPLIKTIG TILTAK ETTER PLAN- OG BYGNINGSLOVEN**

(relatert til installasjoner som omtalt i denne temaveiledningen)  
 (noen steder er det gitt henvisning til hvor i temaveiledningen temaet er omtalt)



Figur 10. Saksgang for søknadspiktig tiltak etter plan- og bygningsloven.

### 3.3. Virkemidler

#### 3.3.1. Investeringsstøtte til storskalaanlegg

Enova gir investeringstøtte til bedrifter som ønsker å bygge produksjonsanlegg for biogass og biodrivstoff i Norge med en årlig produksjon på minimum 1 GWh. Støtten var tidligere på 30%, men dette er endret slik at man kan søke om den beløpet man har behov for å tilføre tilstrekkelig lønnsomhet i prosjektet (inntil 45% for store virksomheter og inntil 50% for små og mellomstore virksomheter). Mer informasjon finnes på Enova sine nettsider: <https://www.enova.no/bedrift/transport/biogass-og-biodrivstoff/>

#### 3.3.2. Investeringsstøtte til gårdsanlegg

Innovasjon Norge gir støtte til bønder og landbruksskoler/naturbruksskoler som ønsker å investere i biogassanlegg gjennom Bioenergiprogrammet, som er en del av jordbruksavtalen. Det kan søkes om støtte til investering, utredning og kompetansetiltak. Det er et krav til at prosjektet skal være lønnsomt og at det skal foreligge en vurdering av den miljømessige gevinsten av anlegget og av hvordan energien skal brukes.

<http://www.innovasjon Norge.no/no/finansiering/bioenergiprogrammet/>

#### Tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg for eget gårdsanlegg

Når gårdeier har eget biogassanlegg, kan det søkes om tilskudd direkte ut fra foretakets dyretall såfremt all husdyrgjødsel benyttes i anlegget. For satser per dyr, se Forskrift om tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1815?q=biogass>. For søknad og veileder til søknad, se <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/husdyrgjodsel-til-biogass/skjema>

#### Tilskudd for gårder som leverer husdyrgjødsel til sentralt anlegg

For gårder som leverer husdyrgjødsel til sentralanlegg, kan det søkes om tilskudd per tonn leveranse. Tilskuddet beregnes ut fra målt vanninnhold i leveransen. For mer detaljer se Forskrift om tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg:

<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1815?q=biogass>

søknad og veileder til søknad: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/husdyrgjodsel-til-biogass/skjema>

**Tilskudd til pilotanlegg for Biogass.** Innovasjon Norge kan gi støtte til bedrifter som ønsker å investere i biogassanlegg og eiere av biogassanlegg som vil teste nye substratkombinasjoner (andre substrater enn våtorganisk avfall fra husholdninger og avløps slam, som for eksempel husdyrgjødsel, skogsavfall eller alger). Tilskuddet kan dekke inntil 50 prosent av totalkostnaden for små bedrifter, 40 prosent for mellomstore bedrifter og 30 prosent for store bedrifter. Det kan gis inntil 150 000 kr til gjennomføring av forprosjekt. Et forprosjekt innebærer analyser og utredninger som er nødvendige for å kunne ta beslutning om å gjennomføre hovedprosjektet.

<http://www.innovasjon Norge.no/no/finansiering/bioenergiprogrammet/biogass-tilskudd-til-prosjekter/>

### 3.4. Når du har bestemt deg: avklaring, forprosjektering, prosjektering og at detaljnivået er deretter med tanke på mulig produksjon, verdikjede for gass og biorest, valg av teknologi, søknader, bygging

Nedenfor følger en liste med punkter som man typisk arbeider seg gjennom ved prosjektering av små anlegg. I praksis vil man gå noe frem og tilbake og endre på valg og parametere og beregninger ettersom ting avklares.

#### Nøkkelperson(er)

En eller flere av de som ønske et biogass-anlegg må ta på seg jobben med å forstå prosessen og å innhente nok kunnskap til å ta valg underveis. Det er mye hjelp å hente både hos leverandører, de som prosjekterer og andre fagfolk, men for å kunne ta gode valg i driftsfasen er man avhengig av å bygge egen kompetanse. Kursing og besøk på andre anlegg for å innhente erfaringer er veldig viktig grunnlag hvis man ønsker å satse på biogass.

#### Verdikjede fra råstoff til anvendelse/salg av gass, bruk av biorest. Er det sikret råstoff og avsetning av energi.

Bestem mengde, TS og VS og variasjon over året så detaljert som mulig for råstoffene. I de fleste tilfeller vil det være noe variasjon i TS og VS for husdyrgjødsel og for råstoff som man tar inn utenfra vil både tilgjengelighet kunne variere og mengde som anlegget trenger til forskjellige tider av året være ulikt. Dette punktet henger veldig tett sammen med valg av reaktor samt bruken av gassen. Kontakt med Mattilsynet bør opprettes tidlig for å starte prosessen med å få godkjent eksterne råstoffer til biogassproduksjon og derigjennom eventuelt forkaste råstoffer som det ikke er sannsynlig at man kan få anvende.

For å få økonomi i små anlegg må råstoffmengder og tilhørende gassproduksjon henge tett sammen med energibehovene på og/eller rundt gården. Hvis energibehovet som skal dekkes varierer betydelig, må råstofftilgang planlegges ut fra det er viktig med langsiktighet både på leveranse og for eventuell gatefee.

#### Plassering, logistikk, arealbehov, sikkerhetsavstander, forhold til naboer.

Lokalisering bør diskuteres tidlig i prosjekteringen slik at det henger sammen med arealbehov og tilfredsstillende krav til sikkerhetsavstand samt forhold til naboer. Et annet viktig element er logistikk. En typisk problemstilling er at man tenker gjødsel fra flere gårder inn til et anlegg. Er det f.eks. mulig med transport av råstoff via rørgater? Hvor langt det vil kunne lønne seg å frakte husdyrgjødsel vil avhenge av mange faktorer, men det er viktig å avklare dette relativt tidlig da det vil begrense seg ganske raskt for små anlegg grunnet det relativt lave gassutbyttet fra og høye vann-innholdet i husdyrgjødsel.



### Leverandører, reaktortype m.m.

Når man har oversikt over gassproduksjon og at denne henger godt sammen med et energibehov er man over i den fasen at man tar kontakt med leverandører for å innhente forslag til løsning og tilbud. Her vil tilbudene variere noe både i pris og ift. reaktortype, nedbrytningsgrad av substratet m.m. Få i så stor grad som mulig dokumentert eller bekreftet i hvor stor grad substratet brytes ned og hvor mye energi som må tilføres for å gjøre det.

Da forutsetningene på den enkelte plass med tanke på råstoff, infrastruktur, behov m.m. vil variere så er det ikke gitt hvilken leverandør som vil kunne tilby best løsning eller om leverandør kan tilby løsning. Dette avhenger i hovedsak av type reaktor de forhandler. Avklar og kartlegg i så stor grad som mulig avstander, lokalisering, råstoff type, mengde og variasjon, potensiell bruk osv. før du tar kontakt med leverandør. Vær forberedt på at leverandørene kommer med nye betraktninger. Det kan derfor være nyttig med en innledende kontakt med leverandør.

### Økonomi

For å få økonomi i små anlegg er man avhengig av å utnytte støtteordningene som finnes (kap 3.3.).

Begynn arbeidet med avklaringer på dette punktet tidlig.

Få hjelp til å sette verdier for avskrivningstid for anlegg, avklare rente på kapital etc. Er det håp om rimelig økonomi tatt hensyn til tilskudd? Klarer du deg uten ekstra råstoff og evt. gate-fee? Hvis verdikjeden omfatter flere ledd, er det en vinn-vinn situasjon for alle deltakere? Skal anlegget og de som leverer husdyrgjødsel dele på tilskudd? Bruk tid på å finne en forretningsmodell som muliggjør vinn-vinn.

### Avtaler, dokumenter og investeringsbeslutning

Tilbud og kontraktsinnngåelser. Ift. forretningsmodell opprett evt. nytt selskap. Inngå intensjonsavtaler om leveranse av råstoff, biorest og varme/strøm.

Søknad Innovasjon Norge eller andre som kan gi støtte. Send søknad vedlagt intensjonsavtaler.

Er forstudien god nok til å gjøre investeringsbeslutning? Her må dere i samråd med leverandør, de som prosjekterer og forvaltning/støtteinstanser ta en nærmere diskusjon. Er det punkter nevnt ovenfor som er uavklart så bør man ta seg tid til å innhente ny informasjon og gjøre nye betraktninger.

Etter avklaring om støtte og investeringsbeslutning send søknad til kommunen, søk mattilsynet og gjør innmelding til DSB.

## 3.5. Forslag til avtale om mottak av substrater/gjødsel

### **Husdyrgjødsel**

Det er et mål i norsk klimapolitikk at mest mulig av produsert husdyrgjødsel skal behandles i et biogassanlegg før det lagres og spres. For å fremme dette klimatiltaket utbetales det av myndighetene en godtgjørelse til bønder som sikrer at gjødsla behandles. Dette kan gjøres på eget gårdsbruk, men siden norske gårdsbruk er små er det i mange tilfelle hensiktsmessig at husdyrgjødsel leveres til større fellesanlegg. Utbetalingen er foreløpig en pilotordning, men det tas sikt på at den gjøres permanent.

Det er nødvendig at det utarbeides avtaler mellom leverandøren av husdyrgjødsel (gårdbrukeren) og mottaker av gjødsla (biogassanlegget, eller eventuelle mellomaktører). Det er viktig at avtalene kvalitetssikres av juridisk kyndige og nøytrale personer. Det kan være hensiktsmessig at flere bønder organiserer seg, for eksempel i et «Biogjødselforum» med et eget styre som kan forhandle med biogassanlegget i forbindelse med utarbeidelse av avtaler eller eventuelle konflikter. Lokale bondelag kan være til hjelp ved etablering av slike sammenslutninger og de kan eventuelt få juridisk bistand fra Norges Bondelag.

Vi vil i dette kapittelet nevne en del ting man bør huske på, i en slik avtale.

#### **Avtalens varighet og oppsigelsesgrunner.**

I utgangspunktet bør det være en relativt lang tidshorisont på en slik avtale (for eksempel 10 år) siden gjødsla vil inngå som en del av det planlagte råstoffgrunnlaget for biogassanlegget, og fordi det vil inngå i bondens gjødselplanlegging. For leverandøren kan det imidlertid skje viktige ting i denne perioden som sykdom, dødsfall, eller bortforpakning eller salg av eiendommen. Det kan også skje driftsavbrudd forårsaket av naturskade, brann eller dyresykdom. Avtalen må også kunne sies opp ved vesentlig mislighold av en av partene, eller dersom gjødselkvaliteten blir svært redusert i forhold til det den var ved avtalens inngåelse. Dette gjelder eksempelvis tørrstoffinnhold og forhold angitt i Gjødselvarsforskriftens kvalitetskrav. (Innhold av tungmetaller, andre miljøgifter, antibiotika, smittestoffer etc.)

Avtalen må kunne endres eller sies opp dersom det kommer nye myndighetskrav som er av avgjørende betydning for avtalen.

Uansett bør det innarbeides overgangsperioder ved oppsigelse. Brudd vil imidlertid måtte skje umiddelbart ved avbrudd forårsaket av smitte, brann eller lignende.

#### **Avtalens omfang og innhold/kvalitetskrav til gjødsla**

Avtalen bør inneholde en avtalt mengde/type gjødsel som skal leveres/mottas på anlegget, og den bør inneholde en passus om hvordan eventuelle avvik håndteres. I forbindelse med dette må gjødsla beskrives med hensyn til type (blautgjødsel fra storfe, blautgjødsel fra svin, tørrgjødsel fra fjærkre etc., samt eventuelt type strø) og tørrstoffinnhold og det bør foretas en kvalitetskontroll ut i fra Gjødselvarsforskriftens krav. Med visse definerte mellomrom bør dette gjentas for å sikre at kvaliteten holder etter avtalen. Avtalen bør inneholde et punkt om prøvetaking, analyseomfang/leverandør av analysetjeneste samt hvem som skal bekoste analysene. Oftest er det hensiktsmessig at biogassanlegget bekoster dette (stordriftsfordeler og kunnskap). Det kan være nyttig å sette visse rammekrav, f.eks. at ikke tørrstoffinnholdet skal være under 2% og ikke vær dårligere enn en angitt kvalitetsklasse med hensyn til visse angitte tungmetaller osv. Det er viktig at husdyrgjødsel er godt omrørt når den hentes, og avtalen bør inneholde et punkt som sikrer dette.

#### **Økonomi**

I dag er det slik at leverandøren av husdyrgjødsel som gjennomgår en biogassbehandling mottar støtte fra myndighetene. Denne ordningen må komme både leverandør og mottaker/biogassanlegg til gode. Eksempelvis kan det ordnes slik at bonden betaler en viss sum til anlegget mot at anlegget håndterer

transport fra gård til biogassanlegg. Det er viktig at begge parter tjener økonomisk på ordningen. I den sammenheng er det verdt å trekke inn at husdyrgjødsel er med å skape både verdifull biogass og en biogjødsel. Summene her vil derfor være gjenstand for forhandlinger, og man kan søke råd hos anlegg/bønder som allerede har etablert en slik ordning i Norge, f.eks. ved Greve Biogass i Vestfold.

#### **Andre råstoff enn husdyrgjødsel**

*Ved leveranse og mottak av annet råstoff/substrat enn husdyrgjødsel må det opprettes tilsvarende avtaler. Hvordan avtalene da skal utformes må ta utgangspunkt i de lokale og spesielle forutsetningene man har. Mange av punktene som her er nevnt om husdyrgjødsel vil likevel være aktuelle men må tilrettelegges.*

### **3.6. Forslag til avtaler om levering av biorest**

Biogassanlegget produserer biogjødsel gjennom hele året og mengdene blir så store at det ikke er hensiktsmessig å lagre all gjødsel ved anlegget. Anlegget kan avhjelpe dette ved å transportere ut biogjødsel til mottakere gjennom hele året. Mottakerne må da etablere egne lagre for lagring av biogjødsel i tillegg til de allerede etablerte gjødsellagrene for ubehandlet gjødsel som de allerede har. Biogassanlegget kan også redusere lagerbehovet ved å skille ut fast fase biorest som kan komposteres, tørkes, pelleteres eller behandles på annen måte mens vannfasen kan inndampes for å konsentrere opp næringssalter og redusere lagervolumet.

#### **Varedeklarasjon på biogjødsel**

Ved anlegget behandles forskjellige typer organisk avfall sammen med husdyrgjødsel. Anlegget er selv sagt forpliktet til å kvalitetssikre typer råstoff som benyttes ved anlegget, samt forpliktet til å hygienisere dette etter gjeldende forskrifter.

Visse typer råstoff vil medføre bruksbegrensninger for den produserte bioresten, dette gjelder for eksempel avløpsslam. For bruk i økologisk landbruk vil en lang rekke råstoff hindre bruk. Ved utarbeidelsen av en varedeklarasjon som skal følge biogjødselen bør det inngå en oversikt over typer råvarer, angitt for eksempel i vektprosent.

Ved en del biogassanlegg tilsettes det ting i tillegg til det som benyttes som råvarer. Dette bør det opplyses om i varedeklarasjonen. Det kan være miksturer av mikroelementer og f.eks. jern som binder hydrogensulfid. Det kan tidvis tilsettes skumdempende midler eller andre kjemikalier og ved avvanning kan det være tilsatt polymer som letter separasjonen.

Det bør imidlertid være rom for en uttynningsklausul, slik at råstoff eller andre tilsetninger som er blitt tynnet ut til mindre enn f.eks. 1 % av opprinnelig konsentrasjon skal kunne sees bort i fra. Når det gjelder avløpsslam så er dette noe Mattilsynet må vurdere.

En varedeklarasjon (se eksempel fra Greve Biogass, neste side) må omfatte både en fysisk/kjemisk beskrivelse, benyttede råvarer, gjødselverdi og faktorer som kan være problematiske i forhold til Gjødselvareforskriften.

pH er en viktig parameter og oppkonsentrert biogjødsel er gjerne surgjort ved tilsetning av en organisk syre, f.eks. svovelsyre for å redusere tap av nitrogen i form av ammoniakk. I slike tilfeller kan også bufferevnen være av interesse.

### **Leveranse av biogjødsel.**

Spredning av gjødsel skjer i sommerhalvåret, og mest når vekstsesongen starter. Det er viktig for den enkelte bonde at mesteparten av leveransen av biogjødsel er gjort før dette tidspunktet. Det kan for eksempel inngå en klausul om at minst 80% av biogjødselen er levert innen sesongstart. Tidspunktet vil variere fra år til år, og med hvor i landet man befinner seg. Tidspunktet må settes i avtalen og uansett være satt så tidlig at det ikke skal være til hinder for en tidlig oppstart.

### **Lagring av biogjødsel før bruk**

Siden biogjødsel ofte lagres på gårdene bør det gjøres anbefalinger med hensyn til hvordan gjødsel bør lagres der. Gårder som selv er leverandører av husdyrgjødsel til biogassanlegg må skille mellom ubehandlet husdyrgjødsel og produsert biogjødsel. Biogjødselen har mere nitrogen i form av ammonium-N, og dette kan mistes til atmosfæren ved høyere pH. Det finnes forskjellige former for lukkede løsninger. Hvordan kostnadene fordeles mellom biogassanlegg og bonde ved etablering av slike satellittlagre kan avtales i egne avtaler, for eksempel ved etablering av spesielt gunstige låneordninger for bonden.

For bønder som selv ikke er leverandør av gjødsel benyttes gjerne de allerede eksisterende gjødsellagrene. Det er viktig at innblanding av biorest ikke hever pH i lageret slik at N-tapet til atmosfæren økes.

### **Bruksanvisning på biogjødsel**

Ved første leveranse av biogjødsel (og senere etter behov) bør det følge en bruksanvisning som gir konkrete råd om lagring og bruk av produktet. Dette gjelder forhold knyttet til lagring, gjødselvirkning, spredning og spredeutstyr, informasjon om kalkverdi (ofte lav kalkverdi på biogjødsel), samt normalt begrensede spredmengder per hektar (nitrogenmengde, fosformengde og mengdebegrensninger i Gjødselvarerforskriften knyttet til produktets kvalitetsklasse).

*Alle avtaler må på samme måte som andre avtaler ha et punkt om hvordan tvister løses, fortrinnsvis i minnelighet, men eventuelt ved angitt domstol/rett.*

## 4. Drift

### 4.1. Oppstart, stabil drift, vedlikehold

Ved oppstart og fylling av reaktoren vil man velge inokulum avhengig av hvilke råstoffer som skal behandles i reaktoren. Dette er mulig å få tak i fra anlegg som behandler lignende substrater. Oppstart vil også avhenge av hvilken reaktortype man bruker. I tilbudet fra leverandøren inngår oppstart som en del av leveransen. Det er viktig å bruke nok tid på oppstarten og at økning i innmatet mengde og oppbygging av kultur får skje gradvis. For anlegg med husdyrgjødsel kan det også være aktuelt å starte opp kun basert på egen gjødsel. Dette vil ta noe lenger tid enn hvis man starter med inokulum, typisk 4-6 uker.

For god gassproduksjon og stabil drift er det viktigste å unngå brå endringer i innmatet mengde, temperatur og pH. Dette oppnås ved daglig sjekk av tilstand på anlegget, om pumper går, om temperaturen er ok, om oppvarming av substrat fungerer, om gassen flyter slik den skal osv. Leverandøren skal bidra med sjekklister og forslag til tiltak her. Typisk tar en sjekkrunde 15-30 minutter. Alle anlegg som leveres i dag har i tillegg muligheten for å følge tilstanden på anlegget via telefon eller pc. Anleggene har også alarmfunksjon, dvs. at hvis en av de ovennevnte parameterne faller utenfor det området det bør være i så vil man få tilsendt sms eller bli oppringt.

Stopp i anlegget – mest vanlig, nå og da

- Pumpeproblemer eller tette rør; forbehandling, innmating eller uttak av substrat.
- Stopp i gasskjel eller gassmotor på grunn av variasjon i gasskvalitet.

Stopp i anlegg - sjelden

- Problemer ventiler
- Problemer med styringssystemet
- Trøbbel med innmating og prosess. Indikasjoner her kan være lav gassproduksjon, lav metanprosent, for lav eller for høy pH. Kan skyldes feil med dosering, for eksempel for høy innmating av fett-holdig råstoff.
- Ved innmating av proteinrike råstoff kan også  $\text{NH}_3$ -inhibering forekomme.

Stopp i anlegget – kan forekomme

- Skumming
- Frost i rør og eller andre komponenter. Må passes på ved lengre kuldeperioder.

De fleste tiltakene tas hånd om ved å skru, justere eller resette komponentene man har. Prosessproblemene løses som oftest ved å redusere/justere innmating.

#### **Vedlikehold.**

Et viktig moment er å bygge anlegget slik at ammoniakk-gass ventileres ut slik at det ikke gir korrosjon på komponentene i anlegget.

Man trenger en plan for vedlikehold for hvordan man skal følge opp og skifte ut deler etter hvert som anlegget blir eldre. Dette kan være:

Ofte

- Smøre og fylle på olje
- Luftstyring av ventiler – tømme kompressor for vann

Nå og da

- Oppfølging av gassrensing og utskiftning av materiale for opptak/utfelling av svovel.
- Skifte pakninger i roterende komponenter som pumper
- Skifte el-kolber, coiler o.l. som slites med tiden.
- 

Sjelden

- Reaktor – Nedstengning etter instruks fra leverandør for inspeksjon og eventuell rengjøring. Dette kan f.eks være avleiringer av uorganisk og uomsatt organisk materiale som reduserer reaktorvolum og gir dårligere varmeoverføring.
- Man bør vurdere å skaffe reserve av kritiske komponenter, f.eks. pumpe(r) som man har i reserve siden det kan ta noe tid å få i en ny.

#### 4.2. Nødvendige og mulige målinger for å monitorere prosessen

Målinger og oppfølging (monitorering) av prosessen kan bedre forståelsen av det som skjer i et biogassanlegg og er viktig for å kunne identifisere forestående ustabiliteter da en inhibering av mikroorganismenes vekst eller en totalstans kan ha store praktiske og økonomiske konsekvenser.

Ved å monitorere prosessen kan man ved relativt enkle beregninger kontrollere prosessen og raskere kunne gjøre endringer for å forbedre forholdene for biogassproduksjon i anlegget og øke gassutbyttet. Det er en rekke egenskaper og faktorer som påvirker prosessen.

Å vite TS og VS for det organiske stoffet som skal brytes ned har stor betydning for mengden biogass som kan produseres.

Ved å måle TS (og VS) og mengder av innkommende substrat, buffer og biogjødsel vil man kunne beregne mengde TS som går inn i reaktoren og ha et mål for hvor mye av substratet som kan omdannes til biogass. Med disse opplysningene samt kunnskap om reaktorvolum og metanproduksjon kan man beregne nyttige faktorer som hydraulisk oppholdstid i reaktor, organisk belastning, omsetningsgrad, metanutbytte etc.

Med kunnskap om disse parameterne kan man si noe om tilstanden i reaktoren og vurdere tiltak som for eksempel kan øke metanutbyttet eller omsetningsgraden til tørrstoffet og dermed få mer metan ut av råstoffet.

Behov for monitorering

Det er nødvendig å differensiere mellom store og små anlegg med tanke på hva som er fornuftig og gjennomførbart av målinger for å monitorere den anaerobe prosessen. Små anlegg vil naturligvis kreve noe mindre og enklere oppfølging sammenlignet med større anlegg.

Følgende er ikke noen fasit, men forslag på hva man kan måle / beregne.

- Små anlegg
- Mengder inn/ut
- Temperatur
- Gassproduksjon
- pH
- HRT – beregne

#### Store anlegg

- Mengder inn/ut
- Temperatur
- Gassproduksjon, volum og metan%
- TS / VS
- pH
- VFA
- Tungmetaller
- NH<sub>4</sub>-N
- FOS/TAC (Flyktige organiske syrer / total alkalinitet)

#### Målinger på bioest (hygienesjekk)

- Salmonella
- Termotolerante koliforme

Å registrere mengder inn og ut gir en indikasjon på hvor mye gass som bør produseres og gir en kontroll med prosessen. Dersom det kommer mindre ut av prosessen enn inn er dette en indikasjon på at noe er galt et sted i prosessen, for eksempel at noe har tettet seg et sted i anlegget. For stor innmating kan føre til ustabilitet i prosessen og i verste fall stans.

**Temperatur** er en viktig faktor i biogassprosessen og drastiske endringer bør unngås og må derfor monitoreres godt. Prosessen tåler ikke raske endringer i temperatur.

**Gassproduksjonen** vil kunne si noe om lønnsomheten til anlegget dersom man sammenligner med TS/VS og finner metanutbyttet. En endring i gassproduksjon eller sammensetningen av gassen kan være en indikator på ubalanse i prosessen.

**Tørrstoffinnholdet (TS)** i substrat er en nyttig parameter mtp. omsetningsgrad i reaktoren og utbytte. VS er et uttrykk for mengde organisk materiale og er den delen av substratet som det er mulig å produsere biogass av og det er derfor ønskelig med et høyt TS og VS innhold. I praksis begrenses TS innholdet derimot av viskositeten og dimensjoneringen av utstyr (rørverk, pumper etc). Substratet må i de fleste tilfeller være flytende, og TS innhold begrenses til dette (Drosg, 2013). Det finnes også biogassanlegg for fast stoff som tåler høy TS.

Ved Greve biogass tas det ut prøver for analyse av TS for hver gård det leveres bløtgjødsel fra (blandingsprøve fra tre forskjellige tankklaster). TS analysene brukes for å beregne det tilskudd bonden vil motta for å levere husdyrgjødsel til anlegget i henhold til jordbruksavtalen.

**Flyktige fettsyrer (VFA)**, og spesielt eddiksyre, er mellomprodukter i den anaerobe nedbrytningsprosessen og en monitorering av disse gir god informasjon om forholdene i reaktoren. En analyse av VFA kan gi tilbakemelding om interaksjoner og inhibering av de ulike gruppene av mikroorganismer i reaktoren. En moderat akkumulasjon av eddiksyre i reaktoren er normalt da eddiksyre er mellomprodukt og omdannes direkte til metan. En liten akkumulasjon av propionsyre tolereres. Forholdet mellom propion- og eddiksyre er en god indikator på prosessstabiliteten. Opphopning av smørsyre og/eller valeriansyre er normalt et tegn på alvorlig ustabilitet i prosessen. Målinger av VFA gjøres ved kromatografiske metoder som HPLC og GC eller ved titreringsmetode. HPLC og GC analyser er typisk analyser som gjennomføres ved oppdragslaboratorier da det krever spesiell kompetanse og utstyr. Titreringsmetode er bedre egnet for å bestemme total mengde syre, og ikke så godt egnet til å skille mellom forskjellige syrer slik som propion- eddiksyreforholdet.

Det er vanlig å analysere for total VFA i rånetanken. De benytter da en titreringsmetode som anslår total mengde syre, beregnet som mengde eddiksyre. Verdien de får inkluderer flere syrer enn eddiksyre slik at verdien vil kunne bli høyere enn hva den faktisk er for eddiksyre, men andre stoffer som er tilstede kan også medføre en lavere verdi. Det er en metode som fungerer bra med tanke på prosessoppfølging forutsatt at det ikke er for store endringer i råstoff.

#### **pH og FOS/TAC**

Et biogassanlegg fungerer mest effektivt når substratene er en blanding som passer til fermenteringsprosessen. Å kunne si noe om status i fermenteringsprosessen er fordelaktig og det bør dokumenteres regelmessig slik at man kan gjøre nødvendige justeringer underveis og få en mer effektiv og økonomisk prosess. pH er en god indikator på stabiliteten av prosessen og systemet bør ha en nøytral pH rundt 7 for å fungere optimalt. pH kan justeres ved hjelp av buffere som natriumbikarbonat eller lut. En for rask endring i type substrat og substratmengde kan resultere i ubalanse og opphopning av flyktige fettsyrer, noe som senker pH. For å unngå forsuring av reaktoren kan undersøkelse av FOS/TAC være til hjelp (forholdet mellom flyktige fettsyrer og alkalisk bufferkapasitet). FOS/TAC forhold på ca. 0,3-0,4 tyder på en reaktor med en maks produksjon av biogass, og tilsetning av substrat bør holdes konstant. Høyere verdier indikerer for mye substrat inn og krever at man slutter å mate inn substrat. Imidlertid vil det være slik at det vil være noe variasjoner i hva som vil være det optimale FOS/TAC forholdet fra anlegg til anlegg.

Innhold av tungmetaller bestemmer kvalitetsklassen til en gjødselvarer. Kvalitetsklassen avgjør hvor stor mengde av gjødselvareren som kan spres og om den kan benyttes på jordbruksarealer, (forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav, 2003) og en kontroll med innhold av tungmetaller i bioresten er derfor viktig.

**Tungmetaller** måles som mg/kg tørrstoff og følgende stoffer er det satt krav til: kadmium, bly, kvikksølv, nikkel, sink, kobber og krom. (ref forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav). Gris og fjørfe får ekstra tilskudd av sink og kobber i fôret og det kan derfor finnes disse tungmetallene i gjødsel fra slike dyr. Ved leveranse av grisemøkk til Greve biogass sendes det prøve for analyse av sink da dette har betydning for bruk av biogjødsel i økologisk landbruk.



**Ammoniumnitrogen (NH<sub>4</sub>-N)** er et av produktene fra den anaerobe prosessen som bør monitoreres. Dersom substratet som benyttes er nitrogenrikt, typisk mye proteiner, kan prosessen bli ustabil på grunn av akkumulering av ammoniakk. Ammonium eksisterer i en pH-avhengig likevekt med ammoniakk. En økende pH fører til et likevektsskifte som favoriserer ammoniakk. Ammoniakke inhiberer metanproduksjonen, men påvirker kun minimalt hydrolyse og fermentering. En nedgang i pH på grunn av syreakkumulering vil derfor kunne bli resultatet dersom syrer ikke blir omdannet til metan.

### **Salmonella og termotolerante koliforme bakterier**

Det er krav til hygienisering dersom det benyttes råstoff som kan spre smitte. Det gjøres vanligvis ved oppvarming til 70 °C i minimum en time før substratet tilsettes reaktoren for å uskadeliggjøre eventuelle smittestoffer. Det finnes også alternativer som eventuelt må godkjennes av Mattilsynet. Som en kontroll av dette er det krav til analyse av Salmonella og termotolerante koliforme bakterier. Biogjødselen skal ikke inneholde Salmonella, og innholdet av termotolerante bakterier skal være lavere enn 2500 pr gram tørrstoff (forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav, 2003)

### *Hyppighet*

Hyppigheten av de ulike målingene/analysene avhenger av en rekke faktorer; type substrat, tilstanden i reaktoren, type utstyr, oppholdstid etc. Et anlegg med et relativt stabilt substrat (for eksempel grisemøkk) og prosess kan ha lengre intervaller på analyser enn anlegg som mottar for eksempel matavfall som er et mer varierende substrat. En kort oppholdstid i reaktor øker behovet for hyppig monitorering av prosessen. Planlagte eller uforutsette endringer i prosessen, økt belastning, endring av substratet e.l. fører med et økt behov for monitorering i en periode inntil prosessen er stabil og hyppigheten kan settes ned. Hyppighet på offline målinger (målinger på prøver tatt ut til laboratorieanalyse) avhenger av instrumenteringen på anlegget; liten grad av instrumentering i prosessen øker behovet for offline registreringer. En tommelfingerregel for analyse av TS og VS kan være en gang per uke og hyppigere ved prosessendringer.

GreVe sender en gang per måned produsert biogjødsel til ekstern analyse av blant annet TS, VS, ammonium-nitrogen, fosfor, svovel, pH, kalsium, magnesium, kalium, tungmetaller, samt mikrobiologiske analyser av termotolerante koliforme bakterier og Salmonella. Analysebeviset leveres til bøndene som mottar biogjødsel.

## 5. Biogass/biogassproduksjon – Generelle ord og begreper

**Aerobt:** Aerobe prosesser foregår med tilgang på oksygen fra luften. Dette er i motsetning til de anaerobe prosessene som skjer i en biogassreaktor.

**Anaerobt:** Den mikrobiologiske prosessen som skjer i en biogasstank foregår uten tilgang på oksygen. Prosessen er derfor avlukket fra tilgang på frisk luft. Organismer som lever under slike betingelser kan være strikt anaerobe, og de tåler da ikke oksygen/luft. Andre mikroorganismer kan leve både aerobt og anaerobt og omtales da som fakultativt aerobe mikroorganismer. Mange mikroorganismer tåler luft, selv om de ikke utnytter oksygenet i luften. De kalles oksygentolerante mikroorganismer, eventuelt mikrooksygentolerante. Under anaerobe betingelser kan organismene få energi ved gjæring eller eksempelvis ved å benytte sulfat, nitrat eller treverdige jern som oksidasjonsmiddel i stedet for oksygen.

**Avvannet biorest:** For å redusere volumet av bioresten, blir den ved enkelte anlegg avvannet ved bruk av sentrifuge, filterpresse eller annen teknologi. Avvannet biorest har da et høyere tørrstoffinnhold, har fast struktur og kan være egnet til kompostering, tørking eller annen etterbehandling. Avvannet biorest er rik på organisk stabilt materiale, f.eks. lignin, og kan ha en effekt som jordforbedringsmiddel mer enn som gjødsel.

**Biogass:** Dette er den gassblandingen av metan og karbondioksid som dannes i en biogassprosess. Den vil også inneholde mindre mengder av hydrogen sulfid, ammoniakk og små mengder av luktsterke organiske syrer. I biogass fra søppelfyllinger (deponigass) og avløps slam kan det også være flyktige kjemikalier brukt i husholdninger. Slike kjemikalier kan måtte fjernes før bruk. Et typisk forhold mellom metan og karbondioksid vil være som 40:60, men dette vil variere avhengig av type råstoff. Mye fett gir et høyere metaninnhold mens et høyt innhold av karbohydrater (stivelse, sukker, cellulose etc) vil gi et lavere metaninnhold. Av og til brukes begrepet «rå biogass» om gassen når den kommer direkte fra biogassreaktoren. Den vil da også inneholde mye vanddamp.

**Biogassprosessen:** Dette er den mikrobiologiske prosessen som skjer inni biogass reaktortanken hvor substratet nedbrytes og omdannes til biogass og biorest. Når avløps slam er råstoff benyttes gjerne utråtning om denne prosessen (rötning på svensk). I engelsk litteratur benyttes ofte ordet for fordøyelse (digestion) om denne nedbrytningsprosessen.

**Biogasspotensialet:** Dette er den mengden biogass som kan dannes under optimale betingelser fra en viss mengde substrat. Betegnes gjerne i Nm<sup>3</sup> biogass per tonn substrat.

**Biogassutbytte:** Det er den mengden biogass som reelt dannes i en biogassprosess. Oppgis gjerne i Nm<sup>3</sup> biogass per tonn våtvekt substrat. Metanutbytte er et mere presist mål siden man da eliminerer variasjoner i metankonsentrasjonen og vanninnholdet i substratet.

**Biogjødsel:** dette er ikke et helt entydig begrep, men i sammenheng med biogassprosesser brukes det gjerne om bioresten dersom den benyttes som gjødsel. Gjødseffekten er da gjerne knyttet til nitrogen-, fosfor- og kaliuminnholdet. Ved avvanning av bioresten vil den vandige fasen være rik på vannløselig næring som nitrogen og kalium og ha en god gjødseffekt. Ved enkelte anlegg oppkonsentreres denne vandige gjødselen for å redusere transport- og lagringsvolumene, for eksempel ved bruk av inndampningsteknologi.

**Biometan:** Dersom biogassen skal kunne benyttes som drivstoff til kjøretøy, eller skal kunne mates inn på en naturgassledning må den oppgraderes til tilnærmet ren metan. Metan dannet fra biologisk materiale i en biogassprosess betegnes som biometan, mens metan som hentes opp fra

reservoarer, f.eks. i Nordsjøen, betegnes som naturgass. Kjemisk sett er dette like gasser med forskjellig opprinnelse.

**Biorest:** I en biogassprosess dannes biogass, mens den gjenværende massen som da tas ut av reaktoren etter prosessen betegnes biorest. Dette er en norsk betegnelse. Biogassanlegg som behandler avløps slam benytter gjerne betegnelsen «råtnerest». I svensk litteratur benyttes gjerne «rötrest» mens man i dansk sammenheng benytter begrepet «avgasset biomasse». I utenlandsk litteratur betegnes bioresten ellers gjerne som digestate.

**COD:** Se kjemisk oksygenforbruk

**Energi fra biogass:** 1 Nm<sup>3</sup> metan har et energiinnhold på ca. 10 kWh/Nm<sup>3</sup> (lavere brennverdi). Biogass inneholder ca. 60 - 70 % metan og 30-40 % karbondioksid. Karbondioksid har ingen brennverdi, og dermed har biogass med 60 % metaninnhold en brennverdi på 6 kWh/Nm<sup>3</sup>. 1 kWh = 3600 kJ = 3,6 MJ = 3,6\*10<sup>-3</sup> GJ. Til sammenligning inneholder 1 liter diesel ca 10 kWh og 1 liter bensin 8,8 kWh.

**Flyktige fettsyrer, (VFA «volatile fatty acids»):** I en biogassprosess brytes organisk materiale ned til mindre fettsyrer som eddiksyre (acetate), melkesyre (lactate), maursyre (formate), propionat, smørsyre (butyrate) med flere. I klamme er oppgitt de engelske betegnelse på anionene som er den stabile formen ved en tilnærmet nøytral pH som man gjerne har i en biogassprosess. I en god biogassprosess omdannes disse videre til metan og karbondioksid. Under ustabile forhold kan de hope seg opp og prosessen «går sur» og stopper opp. Noen av disse fettsyrene har en svært ubehagelig lukt. Under nedbrytning av fett dannes også langkjedete fettsyrer (LCFA – «long chain fatty acids») som også kan hemme biogassprosessen.

**Digestate:** Se Biorest

**Forbehandling av råstoff:** For at råstoffet skal være lettere å omsette i en biogassprosess vil det ofte forbehandles på forskjellige måter. Vanlige forbehandlingmetoder er mekanisk oppkapping, knusing, varmebehandling, bruk av hydrolytiske enzymer, men kan også være behandling med syre eller lut. Det gjøres mye forskning på utvikling av nye forbehandlingmetoder. Dampeksplasjon er en metode hvor råstoffet varmes opp under trykk til en svært høy temperatur (120 - 180°C) og trykket slippes raskt slik at cellestrukturene ødelegges. Cambi-prosessen er et eksempel på en slik prosess og benyttes i dag i hovedsak til forbehandling av avvannet slam fra kloakkrensning og til forbehandling av kildesortert matavfall. Etter forbehandlingen benytter vi begrepet substrat som da kan tilføres biogassprosessen.

**Hydrolyse:** Det første nedbrytningstrinnet i en biogassprosess hvor store organiske molekyler (proteiner, fett og større karbohydrater som stivelse og cellulose) brytes ned til mindre komponenter. Vann inngår som en komponent i denne biologiske nedbrytningen, derav ordet hydrolyse (hydro = vann).

**Hygienisering:** Enkelte typer råstoff må hygieniseres før det kan benyttes i en biogassprosess.

Hygieniseringen er knyttet til hvilken bruk man skal ha av sluttproduktet og dette er behandlet i «Biproduktforskriften». Eksempler er at kildesortert matavfall må knuses ned og varmes i minst 1 time ved 70 °C. Det er viktig å avklare med Mattilsynet i hvert enkelt tilfelle hvilke krav som stilles til de enkelte råstoff knyttet til planlagt etterbruk av bioresten (restproduktet) etter biogassprosessen. Hygienisering skal hindre spredning av smittestoffer til mennesker, dyr og planter og spredning av for eksempel ugrasfrø.

**Inhibering:** Et stoff som hemmer, hindrer eller reduserer biogassdannelsen. Ammoniakk er et slikt stoff. Flyktige fettsyrer kan være et annet, og langkjedete fettsyrer kan også hindre dannelsen av biogass.

**Metanpotensialet:** Dette er den mengden metan vi kan få fra en viss mengde råstoff under optimale betingelser. Siden vi gjerne vil vite hvor mye vi får dannet av metan, er dette ofte brukt i stedet for biogasspotensialet. Siden også råstoffet inneholder store og varierende mengder vann som vil kunne ha stor betydning for vekten på råstoffet oppgis gjerne metanpotensialet i  $\text{Nm}^3$  metan per tonn organisk materiale (VS) i råstoffet.

**Kjemisk oksygenforbruk – KOF** (COD – Chemical oxygen demand på engelsk): Dette er et mål for den reduserende kraften i substratet eller også i råtneresten og på den måten også et mål for hvor mye metan som kan produseres fra et materiale. Den måles ved å oksidere det organiske materiale med et sterkt oksidasjonsmiddel.

**KOF:** Se Kjemisk oksygenforbruk

**Metanutbytte:** Metanutbytte er den mengden metan som reelt dannes i en biogassprosess. Dette er således avhengig av substratets egenskaper, samt valgt teknologi og drift av biogassprosessen. Oppgis gjerne i  $\text{Nm}^3$  metan per tonn organisk materiale (VS) i råstoffet.

**Mikroorganismer:** Dette er organismer som er så små at de ikke kan sees enkeltvis med det blotte øyet. Typiske mikroorganismer er bakterier, gjær, mikroalger, såkalte arker («urbakterier» som for eksempel de som danner metan i en biogassprosess), og inkluderer mikroskopiske dyr, protozoer, amøber og tøffeldyr (Jon 21.9)

**Normalkubikkmeter ( $\text{Nm}^3$ ):** Volumet av en gass forandrer seg med trykk og temperatur. Det er derfor vanlig å angi volumet av gass ved Normal-betingelsen  $0\text{ }^\circ\text{C}$  og trykk  $101,3\text{ kPa}$  (1 atmosfære). En normalkubikkmeter tilsvarer om lag  $10\text{ kWh}$  ved forbrenning (

**Oppholdstid (Retention time):** dette er den tiden som substratet oppholder seg i biogassreaktoren. Oppgis gjerne som den hydrauliske oppholdstiden forkortet HRT («hydraulic retention time»). For helomrørte prosesser (CSTR-prosesser) beregnes den gjerne til:  $\text{Volum}_{\text{m}^3\text{reaktor}} / \text{Volum}_{\text{m}^3\text{tilført per d\text{ø}gn}}$  og får benevnningen døgn. Dette er et slags snitt siden deler av det tilførte vil ha en lengre, og deler vil ha en kortere virkelig oppholdstid. I biogassprosesser hvor oppholdstiden til partikulært materiale er lengre enn væskestrømmen angis av og til i stedet dette materialets oppholdstid, da angitt som SRT («solid retention time»).

**Organisk stoff:** Tørrstoffinnholdet består av både organisk stoff og aske. Asken er biologisk inert og vi ønsker ofte å se bort fra den. Ved å brenne av en tørket prøve (vanligvis ved  $550\text{ }^\circ\text{C}$ ) sitter vi igjen med asken som vi da korrigerer for når vi oppgir organisk innhold. Organisk innhold betegnes ofte som VS. Dette er en forkortelse for «volatile solids». Betegnes også ofte som glødetap (vekttapet man får når tørt organisk materiale forbrennes/gløder).

**Organisk belastning (OLR – «Organic Loading Rate»):** Dette er et mål for den organiske belastningen man utsetter biogassprosessen for. Jo høyere organisk belastning, jo høyere biogassproduksjon er det mulig å oppnå per tidsenhet. Ved svært høy organisk belastning reduseres gjerne utnyttelsen av substratet, men biogassproduksjonen per tidsenhet kan økes. Ved for høy organisk belastning blir gjerne prosessen ustabil, enkelte organiske komponenter hopper seg opp og prosessen bryter sammen. Hvor stor organisk belastning et system kan tåle vil være avhengig av substratets egenskaper, valg av prosess og driftsbetingelser. Organisk belastning oppgis gjerne i  $\text{kg}$  innmatet organisk materiale per  $\text{m}^3$  reaktorvolum per døgn ( $\text{kg}/\text{m}^3\text{ d\text{ø}gn}$ ).

**Råstoff:** Råstoffet er det organiske materialet som benyttes i en biogassprosess. Eksempler på vanlige råstoff i Norge er kildesortert matavfall, husdyrgjødsel (som kan deles inn i blautgjødsel fra storfe, blautgjødsel fra svin, hønsegjødsel, hestemøkk osv.), kloakkslam (avvannet slam fra kloakkrensning), septikkslam, organisk avfall fra landbruket (halm, rester fra avling, ødelagte

halmballer), fiskeensilasje (dødfisk og fiskeslo stabilisert ved tilsetning av maursyre), slam fra fiskeoppdrett (avføring fra fisk og fôrrester). Noen råstoff kan innmates som substrat uten forbehandling, men vanligvis må det forbehandles før det er egnet som substrat. Dersom bioresten sluttproduktet skal kunne brukes som gjødsel i landbruket vil det stilles visse krav til typer og renhet av råstoffet. Avløpsslam og septikkslam vil gi helt spesielle begrensninger, likeledes om råstoffet er forurenset med for høyt innhold av miljøgifter, f.eks. enkelte tungmetaller.

**Råtnerest:** Se biorest

**Spesifikk metanproduksjon:** Mengden metan som produseres i en biogassprosess per mengde innmatet organisk materiale per døgn. Oppgis gjerne i Nm<sup>3</sup> metan per tonn organisk materiale (VS) per døgn. For å karakterisere og sammenligne forskjellige reaktortyper kan man også benytte Nm<sup>3</sup> metan per VS per kubikkmeter reaktorvolum.

**Substrat:** Substratet er det organiske materialet som mates inn i en biogassprosess. Det kan enten være råstoffet direkte, dersom råstoffet ikke krever noen form for forbehandling, eller forbeholdt råstoff. Forhandlingen kan for eksempel være varmebehandling, sikting, oppmaling, knusing, pH-justering eller andre ting som innebærer at råstoffet får en form og renhet som er egnet for innmating i biogassprosessen. Det som til slutt tilføres bioreaktoren er gjerne en blanding av flere slike substrater.

**Tettheten av substrat:** tettheten til pumpbare materialer med tørrstoffinnhold på under 10 %, kan variere noe, men i beregninger brukes 1000 kg=1 m<sup>3</sup>.

**TS:** Se Tørrstoff

**Tørrstoff:** Råstoff, substrat og produsert biorest inneholder varierende mengder vann, og det er ofte hensiktsmessig å se bort fra dette. Vi oppgir da i stedet tørrstoffmengden (TS) i stedet for våtvekt (vekt inklusive vann). Mengden tørrstoff måles gjerne etter at vannet er dampet bort ved 105 °C. Det er således vanskelig å benytte dette som mål på råstoff som lett «koker» bort en stor andel av det organiske materialet (en del alkoholer, syrer og oljer). Når det ferdige substratet har et høyt TS-innhold vil det bli mindre flytende eller i enkelte tilfelle nesten fast, noe man må ta hensyn til ved valg av teknologi og utstyr.

**VS:** Se Organisk stoff

## 6. Andre nyttige kilder og forslag til videre lesning

Svenskt gasteknisk center: «Gårdsbiogashandbok».

<http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC206.pdf>

Lemvik Biogas - Flere aktuelle temahefter: <http://lemvigbiogas.com/download.htm>

International Energy Agency (IEA task 37): <http://task37.ieabioenergy.com/technical-brochures.html>

## 7. Litteratur

- Berglund, M. og Borjesson P. 2006. "Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production." Biomass & Bioenergy 30(3): 254-266.
- Bergström Nilsson, S., Eliasson, K. Halldorf S. og Broberg, A. 2015. Utvärdering av gårdsbaserad biogasproduktion -Uppföljning av teknik och metanemissionsfrågor i etablerade anläggningar. <http://hushallningssallskapet.se/?projekten=utvardering-av-gardsbaserad-biogasproduktion>
- Carlsson, M. og Uldal, M. 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport SGC 200 •1102-7371 • ISRN SGC-R-200-SE. Svensk Gasteknisk Center.
- Chen, H., Wang, W., Xue, L., Chen, C., Liu, G. & Zhang, R., 2016. Effects of Ammonia on Anaerobic Digestion of Food Waste: Process Performance and Microbial Community Energy & Fuels 2016 30 (7), 5749-5757
- Drosg, B., 2013. Process monitoring in biogas plants. IEA Bioenergy. ISBN 978-1-910154-03-8  
[https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea\\_pdf/reports/iea\\_bio\\_Uldalenergy\\_task37\\_brochure\\_biogas\\_process\\_monitoring.pdf?m=1469661329](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_bio_Uldalenergy_task37_brochure_biogas_process_monitoring.pdf?m=1469661329)
- Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. FOR-2003-0704-951. Landbruks- og matdepartementet. Lenke til Lovdata <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>
- Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum («Animaliaforskriften» eller «Biproduktforskriften»)
- Lenke til Lovdata: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064/\\*#\\*](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064/*#*)
- Forskrift om floghavere. Lenke til Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-22-752>
- Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. FOR-2003-0704-951. Landbruks- og matdepartementet. Lenke til Lovdata <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>
- Forskrift om planter og tiltak mot planteskadegjørere: Lenke til Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2000-12-01-1333>
- Fjørtoft, K., Morken, J. Hanssen, J.F. og Briseid, T. 2014. Methane production and energy evaluation of a farm scaled biogas plant in cold climate area. Bioresource Technology 2014; Volum 169. s. 72-79
- Fjørtoft, K., Morken, J. og Gjetmundsen, M. 2014. Dokumentasjon av biogassanlegget på Tomb VGS. Ås: NMBU 2014 43 s. IMT Rapport serie (55)
- Lossie, U. & Pütz, P., 2008. Targeted control of biogas plants with the help of FOS/TAC. HACH LANGE. Rapport hentet fra <https://tr.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593611361>

- Marchaim, U. & Krause, C., 1993. Propionic to acetic acid ratios in overloaded anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 43 (3), 195-203.
- Serikstad, G.L., McKinnon, K. & Eggen, T., 2012. Uønskete stoffer i husdyrgjødsel. Konvensjonell husdyrgjødsel brukt i økologisk drift – er det problematisk? Bioforsk Rapport 7(28).
- Schnürer A. og Jarvis, Å. 2010. Microbiological Handbook for Biogas Plants. Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207.
- Solli, L., Bergersen, O., Sørheim, R., og Briseid, T. 2014. Effects of a gradually increased load of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production. *Waste Management* 2014; Volum 34.(8) s. 1553-1559
- Sørby, Ivar, 2017. Informasjon om utarbeidelse av avtaler mellom biogassanlegg og bønder ved ved Greve Biogass i Vestfold.
- Vitenskapskomiteen for mattrygghet (2011). Uttalelse vedrørende hygieniske sider ved å bruke slam fra klekkeri og settefiskanlegg, og slam fra oppdrettsanlegg som gjødsel og jordforbedringsmiddel. Uttalelse fra Faggruppe for hygiene og smittestoffer i Vitenskapskomiteen for mattrygghet. VKM Report 2011: 03
- Wellinger, A., Murphy, J. og Baxter, D. 2013. The Biogas Handbook - Science, Production and Applications. 1st Edition. Eds. Wellinger, A., Murphy, J. og Baxter, D. Woodhead Publishing. eBook ISBN: 780857097415, Hardcover ISBN: 9780857094988

## Vedlegg 1

Eksempel på en varedeklarasjon på biogjødsel (Etter Greve Biogas, 2017)

*Produkttype:* flytende biorest

Sammensetning: oppgi råvarer i fallende rekkefølge etter inngående vekt

Hygieniseringsmetode: for eksempel pasteurisering ved temp Grader C

Stabiliseringsmetode: anaerob biologisk nedbrytning

Produktets kvalitetsklasse: 0, I eller II

Produsentens navn og adresse:

Partinummer/batchkode

Tungmetall	g/m <sup>3</sup> biogjødsel
Kadmium (Cd)	
Bly (Pb)	
Kvikksølv (Hg)	
Nikkel (Ni)	
Sink (Zn)	
Kobber (Cu)	
Krom (Cr)	

*Produktegenskaper*

Tørrstoff		%
pH		
Organisk innhold		% av tørrstoff

*Næringsinnhold*

Næringsstoff	Kjemisk betegnelse	kg/tonn tørrstoff	kg/m <sup>3</sup> – kg/tonn
Nitrogen (total)	Tot-N		
Ammonium nitrogen	NH <sub>4</sub> -N		
Nitrat nitrogen	NO <sub>3</sub> -N		
Fosfor (total)	Tot-P		
Kalium (total)	Tot-K		
Kalsium (total) <sup>1</sup>	Tot-Ca		
Magnesium (total) <sup>1</sup>	Tot-Mg		
Svovel (total) <sup>1</sup>	Tot-S		
evnt. mikronæringsstoffer <sup>1</sup>			

<sup>1</sup> Disse kan settes opp dersom konsentrasjonen er høyere enn en minste verdi angitt i Gjødselvareforskriften





