

Produksjon av biogass fra slam og organisk avfall

- effektivisering av utråtningsprosesser

Av Tor Gunnar Jantsch

Tor Gunnar Jantsch er forsker ved NIVA

Sammendrag

Forbedret overvåkning og kontroll av biogassprosesser kan gi anleggseiere mulighet for å ta imot og behandle mer organisk avfall og øke produksjonen av biogass. Overvåkningen kan bidra til at prosessen kan opereres nærmere sin maksimale biologiske kapasitet og at en begynnende eller etablert ustabilitet kan motvirkes av operatøren og/eller et kontrollsystem. Ny kunnskap om den anaerobe nedbrytningsprosessen og om mikroorganismene som står for de enkelte trinnene i nedbrytningsprosessen har ført til en rekke nye metoder for overvåkning. Utviklingen innenfor styringssystemer vil gjøre biogassprosesser enklere i drift og dermed mer attraktive som behandlingsprosesser for slam og andre typer organisk avfall.

Summary

Improved monitoring and control of biogas processes can give plant operators the opportunity to receive and treat higher quantities of organic waste and increase the production of biogas. Monitoring can contribute to operation of the process closer to its maximum biological potential and give opportunity for an operator or a control system to counteract an approaching or established instability situation. New knowledge of the anaerobic degradation process and the microorganisms responsible for the different steps in the degradation process has led to a number of new methods for process monitoring. Development of control systems will make biogas processes simpler in operation and as such more attractive as treatment processes for sludge and other types of organic waste.

Innledning

Utråtningsprosesser for volumreduksjon og produksjon av biogass fra slam og organisk avfall har et stort potensial for effektivisering. Per i dag finnes det et 20-talls biogassreaktorer i drift i Norge hvorav de fleste behandler slam fra renseanlegg. En mer effektiv drift av råtneprosesser vil medføre større mottaks- og behandlingskapasitet i råtnetankene og økt biogassproduksjon. For en anleggs-eier vil dette bety at:

- 1) man kan ta imot og behandle alternative avfallstyper, for eksempel matavfall, i eksisterende råtnetanker og dermed øke energi-produksjonen. SSB (2005) rapporterer at det ble kastet 500 000 tonn matavfall i 2002, mens det i 2003 ble utråtnet 7000 tonn våtorganisk avfall.
- 2) ved design av en ny reaktor kan man dimensjonere denne mindre enn tidligere.

Tradisjonelt er utråtningsreaktorer overdimensjonerte for å motvirke faren for prosessforstyrrelse og påfølgende surgjøring som kan være et problem ved anaerobe prosesser. Prosessforstyrrelse og surgjøring kan oppstå ved overbelastning av reaktoren eller andre former for påvirkning av prosessen, for eksempel temperatursvingninger eller toksiske forbindelser i substratet.

Forskning har vist at mengde organisk materiale tilført en råtnetank kan økes 3 til 4 ganger uten at dette senker stabiliteten i reaktoren

(Björnsson et al., 2000). En slik økning krever imidlertid at man gjennom overvåkning og styring kan kontrollere prosessen.

Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav krever at gjødsel-vareprodukter ”må være stabilisert slik at de ikke forårsaker luktulempen eller andre miljøproblemer ved lagring og bruk”. Dette medfører at en optimalisering av biogassprosessen må balanseres opp mot en tilstrekkelig stabilisering av produktet.

Biogassprosessen

Biogass dannes når organisk materiale brytes ned av mikroorganismer i et oksygenfritt (anaerobt) miljø. Nedbygningen foregår i flere trinn hvor ulike mikroorganismer er ansvarlige for de forskjellige trinnene (figur 1).

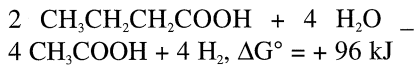
1. Først brytes polymere forbindelser (for eksempel polysakkarider, fett og proteiner) ned til løselige monomere (for eksempel sukkermonomere, fettsyrer og aminosyrer) som kan tas opp av mikroorganismene. Spesielt for substrater i partikulær form er dette det hastighetsbegrensende steget i prosessen.
2. I det *acidogene* trinnet brytes produktene fra det første trinnet ned av fermentative eller anaerobt oksidative organismer til acetat, CO₂ og H₂ eller andre metabolitter som smørsyre. Dette er normalt det raskeste trinnet i prosessen og organismene frigjør forholdsvis mye energi fra denne reaksjonen som de kan bruke til vekst.

3. *Acetogenese*-trinnet består av omdannelse av metabolittene fra det foregående trinn (for eksempel smørsyre) til forbindelser som kan utnyttes av *metanogene* organismer. I denne reaksjonen frigjøres svært lite energi og organismene har følgelig svært lav vekstshastighet og er dermed sårbare for endringer i prosessbetingelsene.

4. Det endelige trinnet består av dannelselse av metan og karbondioksid fra enten acetat (v.h.a. acetoslastiske metanogene organismer) eller hydrogen og karbondioksid (v.h.a. hydrogenotrofe metanogene organismer). Omtrent 1/3 av metanen produseres via den hydrogenotrofe veien og 2/3 via acetat (Lalman og Bagley, 2001). Hydrogenotrofe metanogener vokser forholdsvis raskt, mens acetogene metanogener har en lavere vekstshastighet og er også mer sårbare overfor miljømessige forstyrrelser (Kortekaas, 1998).

For å få en jevn og stabil nedbrytning av de organiske molekylene gjennom trinnene er det viktig at aktiviteten av de ulike mikrobielle gruppene er mest mulig samstemt. Dette er viktig fordi de ulike mikroorganismene er svært avhengige av hverandre; den ene gruppes avfallsprodukter er substrat for den neste gruppen. Opprettholdelse av aktiviteten i den første gruppe kan faktisk være helt avhengig av at den etterfølgende gruppe fjerner avfallsproduktene. Omdannelse av smørsyre til eddiksyre av acetogene organismer er ikke energimessig

mulig under standardforhold (Gibbs frie energi-verdien er positiv), men hvis hydrogenkonsentrasjonen er lav vil Gibbs frie energi endres til negativ og reaksjonen være mulig.



Hydrogenkonsentrasjonen holdes lav av hydrogenotrofe metanogene organismers forbruk av hydrogen ved metanproduksjon. Denne gjensidige avhengigheten mellom de acetogene organismene og de metanogene organismene kalles *syntrofi*.

I tillegg kan akkumulering av avfallsprodukter rett og slett være toksisk for hele prosessen, jfr. surgjøring pga. opphopning av fettsyrer (for eksempel eddiksyre) i prosessen.

Prosessforstyrrelse og surgjøring

Prosessforstyrrelse (og i verste fall surgjøring) forekommer når det ikke lenger er balanse mellom aktiviteten i de forskjellige mikrobielle gruppene i prosessen. Aktiviteten er bl.a. avhengig av konsentrasjonen av substrat, konsentrasjonen av organismer, samt den metabolske aktiviteten av den enkelte organisme. Måten disse parametrene påvirker gruppens aktivitet på er svært kompleks. Eksempelvis kan økt substratkonsentrasjon øke aktiviteten av en gruppe, spesielt hvis det er en hurtigvoksende gruppe, såfremt ikke substratinhibering forekommer. Konsentrasjonen av mikroorganismer og deres aktivitet er avhengig av eksempelvis konsentrasjonen av toksiske forbindelser, riktig pH og temperatur.

De mest følsomme organismene i prosessen er de metanogene organismene. Relativt små endringer i for eksempel pH eller temperatur kan senke deres aktivitet dramatisk. En prosessforstyrrelse medfører ofte senket aktivitet av de metanogene organismene og dermed en økt konsentrasjon av disse organismenes substrat (eddiksyre), hvilket igjen kan føre til en forsuring av prosessen.

Prosessovervåkning

En optimal prosessovervåkning består av kontinuerlig on-line overvåking av de parametere som gir et bilde av prosessens stabilitet og hvordan den utvikler seg. Har man da en god forståelse eller en modell for prosessen kan man på grunnlag av overvåkningsdataene forutsi hva som vil skje i prosessen og evt. iverksette tiltak.

Helst skal overvåkningsparametere ikke påvirkes av andre faktorer som for eksempel substratsammensetning. Som nevnt er det aktiviteten av de forskjellige gruppene og balansen mellom disse som er bestemmende for prosessens stabilitet. Ideelt skulle da prosessovervåkning for biogassprosesser bestå av *direkte måling* av de ulike gruppenes aktiviteter. Selv om det foregår mye forskning på dette området er det prosessovervåkning ved hjelp av *indirekte målinger* av gruppenes aktivitet og balansen dem imellom som har kommet lengst med hensyn til praktisk anvendbarhet.

Direkte metoder for bestemmelse av organismeantall og metabolsk aktivitet.

De klassiske metodene for karakterisering av mikrobielle samfunn i avløpsrensaneanlegg, som for eksempel mikroskopering og agar-plate isolering og identifisering, er funnet å være utilstrekkelige for overvåkningsformål i anaerobe prosesser (Oude Elferink et al., 1998). Derfor er en rekke metoder utviklet for å bestemme konsentrasjonen av organismer og/eller deres metabolske aktivitet. Disse inkluderer immunologiske metoder, metanogen aktivitetsbestemmelse, måling av spesifikk enzymaktivitet og måling av spesifikke forbindelser i cellene (ATP, F-420 og NADH), imidlertid er ingen av disse tilpasset bruk i fullskala-prosesser som overvåkningsverktøy (Jantsch, 2003). En metode er utviklet for multitrinns-fraksjonering av det mikrobielle samfunnet. Metoden gir et "fingeravtrykk" av den mikrobiologiske sammensetningen av samfunnene ved å fraksjonere organismene basert på deres overflateegenskaper i vandige to-fase polymer-systemer. Tettheten av de ulike fraksjonene blir målt og metoden har vist seg å gi et stabilt "fingeravtrykk" for en stabil biogassprosess, mens "fingeravtrykket" endret seg betydelig ved overbelastning av reaktoren (Björnsson et al., 2001).

Et viktig poeng å ta hensyn til ved direkte metoder er at en stabil sammensetning av de mikrobielle samfunnene ikke garanterer prosessstabilitet i overbelastningssituasjoner (Criddle, 2001), mens en fleksibel samfunnsstruktur vil kunne gi prosessstabilitet i overbelastede bioreaktorer (Fernandez et al., 2000). Det er

derfor ikke anvendbart å kun se på sammensetningen av samfunnet uten å vurdere den faktiske aktiviteten av gruppene også. Med dagens metoder og teknologi er dette ikke praktisk mulig, så rutinemessig overvåkning av stor skala prosesser basert på direkte måling av aktivitet ligger et stykke frem i tid.

Indirekte metoder

Gass-fase målinger

Målinger av gass-fasen er relativt lett å utføre, men gir begrenset med informasjon om prosessens tilstand. Gassproduksjonen kan være en anvendbar overvåkningsparameter så lenge den ses i sammenheng med den organiske belastningen på prosessen og gassammensetningen. Gassammensetningen, metanutbytte og gassutbytte er lite sensitive indikatorer for ustabilitet i prosessen (Ahring og Angelidaki, 1997). Hydrogen er en interessant parameter siden den er en metabolitt i nedbrytningsprosessen som teoretisk kan øke i konsentrasjon ved prosessforstyrrelse (Björnsson, 2000). Metoder er utviklet for måling av hydrogen både i gassfasen og væskefasen av reaktorer, men i overvåkningssammenheng har det vært problematisk å få anvendbare resultater. En "elektronisk nese" bestående av 20 forskjellige sensorer for måling av gassfasesammensetning med påfølgende multivariate analyse av resultatene har vært brukt for prosessovervåkning i laboratorieskala (Nordberg et al., 2000).

pH er en ofte brukt parameter for prosessovervåkning siden den er enkel og billig å måle. Denne para-

meteren er dog uhensiktsmessig å bruke for godt buffrede systemer hvor en pH-variasjon først vil fremkomme når prosessforstyrrelsen er etablert.

Alkalinitet eller **titreringsbaserte metoder** er særdeles interessante siden mye informasjon kan fremskaffes ved forholdsvis enkle metoder. Konsentrasjonen av både bikarbonat og kortkjedede fettsyrer kan bestemmes ved måling av partiell og total alkalinitet eller fra titreringskurver. En rekke metoder og instrumenter, også kommersielt tilgjengelig, er utviklet for å overvåke biogassprosesser med basis i titrerings-teknikker (Jantsch og Mattiasson, 2004; Applitek, 2004).

Kortkjedede fettsyrer kan også måles ved kromatografiske metoder, men disse krever forholdsvis kostbart og avansert utstyr.

For å kunne vurdere tilstanden i en prosess er det viktig å følge utviklingen av en prosess over tid. Variasjoner av en måleparameter trenger ikke bety ustabilitet i prosessen ettersom måleparameteren kan være avhengig av for eksempel substratsammensetning. Et eksempel på dette er hvordan fettsyrekonsentrasjonen kan variere mellom prosesser hvor substratet hovedsakelig består av proteiner i forhold til en prosess hvor det er mye sukker i substratet (Ahring et al., 1995; Jantsch og Mattiasson, 2003).

Siden prosessovervåkning og kontroll er svært krevende og det er urealistisk at hver enkelt anleggseier skal ha fullverdig kompetanse og utstyr er det etablert et europeisk samarbeid for fjernstyrt overvåkning og kontroll av biogassanlegg, TELEMAT

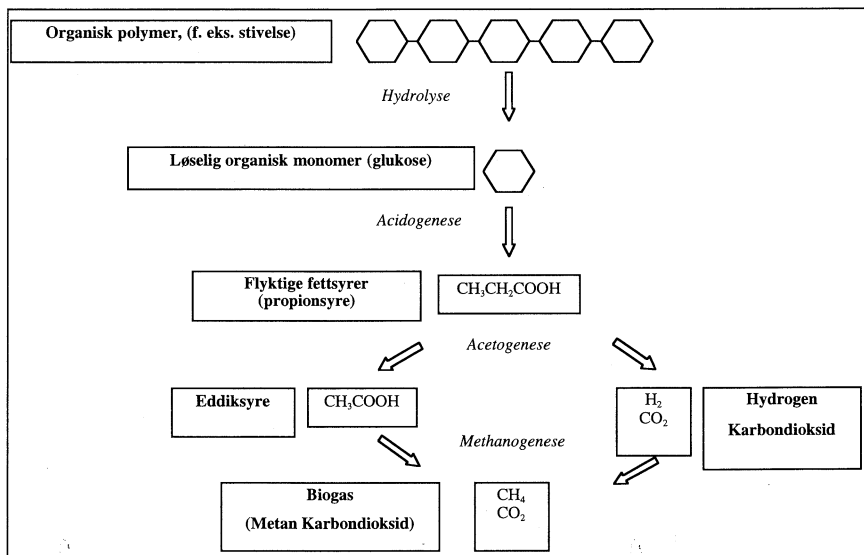
(Telemac, 2004). Prosjektet har etablert demonstrasjonssystemer for fjernovervåkning av biogassanlegg basert på to sensor-systemer og har vist seg å være nyttig for anleggseiere. Telemac-systemet (to sensorer, matematiske modeller og overvåkningsprogrammet) er blitt testet i flere forskjellige reaktortyper og funnet å kunne forutsi prosessforstyrrelser i slamreaktorer og forhøyede utslippsverdier for avløpsvannprosesser.

Konklusjon

Forbedret overvåkning og kontroll av biogassprosesser kan gi anleggseiere en mulighet for å øke belastningen på

sin prosess og dermed ta imot og behandle ytterligere avfall i tillegg til dagens belastning. Økt belastning i prosessen må ses i sammenheng med stabiliteten av utråtningsproduktet. Overvåkingen vil bidra til at prosessen kan opereres nærmere sin maksimale biologiske kapasitet og at en begynnende eller etablert ustabilitet kan motvirkes av operatøren. Utviklingen som er i ferd med å skje på området vil gjøre biogassprosesser enklere i drift og dermed mer attraktive som behandlingsprosesser for slam og flere organiske avfallstyper, samt for flere typer avløpsvann.

Figur 1. Den anaerobe nedbrytningsprosessen.



Referanser

- Ahring, B. K. og Angelidaki, I. (1997) Monitoring and controlling the biogas process. Vol. 1(3), p. 32-39. In Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai, May 25-29.
- Ahring, B. K., Sandberg, M. og Angelidaki, I. (1995) Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digesters. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 43 (3), 559-565.
- Applitek (2004) <http://www.environmental-expert.com/technology/applitek/applitek.htm>
- Björnsson, L. (2000) Intensification of the biogas process by improved process monitoring and biomass retention. Doctoral dissertation at Department of Biotechnology, Lund University, Lund.
- Björnsson L., Murto M., Jantsch T. G. og Mattiasson B. (2001). Evaluation of new methods for the monitoring of alkalinity, dissolved hydrogen and the microbial community in anaerobic digestion. *Water Res.* 35(12):2833-40.
- Björnsson, L., Murto, M. og Mattiasson, B. (2000). Evaluation of parameters for monitoring an anaerobic co-digestion process. *Appl Microbiol Biotechnol.* 54(6):844-9.
- Blum, D. J. W. og Speece, R. E. (1991) A database of chemical toxicity to environmental bacteria and its use in interspecies comparisons and correlations. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 63 (3), 198-207.
- Criddle, C. (2001) Microbial community dynamics in anaerobic digestion. Vol. 1(2), p. 31. In Proceedings of the 9th World Congress Anaerobic Digestion 2001, Anaerobic Conversion for Sustainability, Antwerpen, Belgium.
- Fernandez, A. S., Hashsham, S. A., Dollhopf, S. L., Raskin, L., Glagoleva, O., Dazzo, F. B., Hickey, R. F., Criddle, C. S. og Tiedje, J. M. (2000) Flexible community structure correlates with stable community function in methanogenic bioreactor communities perturbed by glucose. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (9), 4058-4067.
- Jantsch, T. G. (2003) Reactor applications and process monitoring for improved anaerobic digestion. Doctoral dissertation at Department of Biotechnology, Lund University, Lund.
- Jantsch, T. G. og Mattiasson, B. (2003) A simple spectrophotometric method based on pH-indicators for monitoring partial and total alkalinity in anaerobic processes., *Environmental Technology*. Volume 24, Number 9, pp 1061-1068.
- Jantsch, T. G. og Mattiasson, B. (2004) An automated spectrophotometric system for monitoring buffer capacity in anaerobic digestion processes *Water Research*, vol. 38. (17), p 3645-3650.
- Kortekaas, S. (1998) Sequenced anaerobic-aerobic treatment of hemp pulping wastewaters. Doctoral dissertation at Department of Environmental Technology, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Lalman, J. A. og Bagley, D. M. (2001) Anaerobic degradation and methanogenic inhibitory effects of oleic and stearic acids. *Water Research*, 35 (12), 2975-2983.

Nordberg, A., Hansson, M., Sundh, I., Nordkvist, E., Carisson, H. og Mathisen, B. (2000) Monitoring of a biogas process using electronic gas sensors and near-infrared spectroscopy (NIR). *Water Science and Technology*, 41 (3), 1-8.

Oude Elferink, S. J. W. H., van Lis, R., Heilig, H. G. H. J., Akkermans, A. D. L. og Stams, A. J. M. (1998)

Detection and quantification of microorganisms in anaerobic bioreactors. *Biodegradation*, 9 169-177.

SSB (2005) www.ssb.no, "Avfallsregnskap for Norge 1995-2004, foreløpige tall" og "Avfallshåndtering, 2003".

Telemac (2004), <http://www.ercim.org/telemac>

www.asplanviak.no

**Asplan Viak +++
- | +++**

Asplan Viak er en tverrfaglig rådgivnings- og konsulentvirksomhet med over 400 medarbeidere fordelt på 18 kontorer landet rundt fra Kristiansand i sør til Karasjøk i nord. Asplan Viak jobber blant annet innen følgende fagfelt:

-
- | | | |
|-------------------|---------------------|---------------|
| * vannbehandling | * avløpsrensing | * elektro |
| * vannforsyning | * geodata | * arkitektur |
| * ledningsanlegg | * hydrogeologi | * byggteknikk |
| * nettmodellering | * forurenset grunn | * landskap |
| * ledningskart | * renovasjon | * samferdsel |
| * driftskontroll | * avfallshåndtering | * internett |
-

Asplan Viak Sør AS

TK-senteret Longum Park
Serviceboks 701
4808 Arendal

Telefon: +47 37 03 55 60

E-post: arendal@asplanviak.no

Internett: www.asplanviak.no/avsor