



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Et skridt nærmere online regulering af biogasanlæg med kemometri**

Madsen, Michael; Holm-Nielsen, Jens Bo; Esbensen, Kim

*Published in:*  
Dansk Kemi

*Publication date:*  
2007

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Madsen, M., Holm-Nielsen, J. B., & Esbensen, K. (2007). Et skridt nærmere online regulering af biogasanlæg med kemometri. *Dansk Kemi*, 88(9), 18-20.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Et skridt nærmere online regulering af biogasanlæg med kemometri

Online styrings- og reguleringsværktøjer til biogasanlæg baseret på nærinfrarød spektroskopi er på vej til at blive et markedsmodent produkt. En stabil og øget biogasproduktion på basis af regulering ud fra kemiske spektroskopiske informationer forventes realiseret inden for ganske få år

Af Michael Madsen<sup>1,2</sup>, Jens Bo Holm-Nielsen<sup>1,2</sup> og Kim H. Esbensen<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Aalborg Universitet Esbjerg, Forskningsgruppen ACABS,

<sup>2)</sup> Syddansk Universitet, Bioenergigruppen

Den hastige udbygning af biogassektoren, hovedsagelig i Tyskland, har i de seneste år skabt et kolossalt marked for avancerede styrings- og reguleringsværktøjer til biogasanlæg i alle størrelser. Traditionelle sensorer såsom simple gasanalytatorer og pH-prober kommer hurtigt til kort i en decideret reguleringsammenhæng. Processerne i et biogasanlæg er for indviklede til, at få univariate sensorer kan afdække processens aktuelle tilstand og sikre et optimalt reguleringsgrundlag. Der må nødvendigvis tages tungere isenkram i brug for at sikre en effektiv styring og dermed bane vej for et øget biogasudbytte.

Naturlige variationer i sammensætningen af de meget heterogene råvarer, der konverteres til biogas i biogasanlæg, kan medføre store udsving i gasproduktionen forårsaget af procesforstyrrelser. Konsekvensen heraf er driftstab. Pålidelig overvågning af biogasprocessen, helst i *realtid*, står derfor øverst på ønskelisten hos mange driftsledere og investorer. Nærinfrarød spektroskopi har i denne sammenhæng vist sit

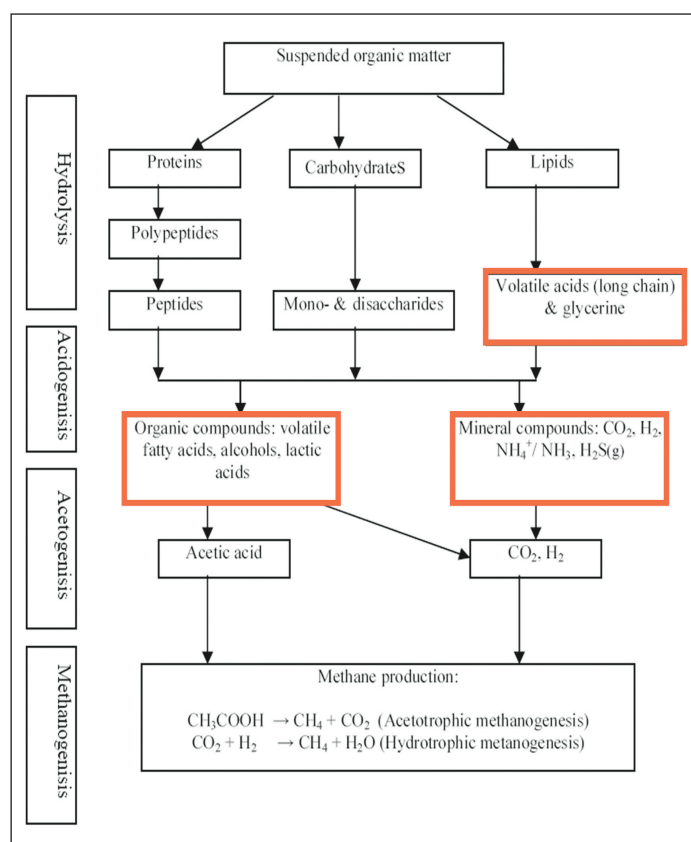
Komponent	Koncentration
Methan	55-70 vol-%
Kuldioxid	30-45 vol-%
Kvælstof	0-2 vol-%
Svovlbrinte	~500 ppm
Ammoniak	~100 ppm

Tabel 1. Sammensætning af biogas [5].

Give varsel om kommende processammenbrud
Må ikke give falske alarmer
Skal afspejle, hvornår processen er genetableret efter sammenbrud
Skal helst kunne måles online

Tabel 2. Krav til styringsparameter.

Give varsel om kommende processammenbrud. Må ikke give falske alarmer. Skal afspejle, hvornår processen er genetableret efter sammenbrud. Skal helst kunne måles online [6,10].



Figur 1. Anaerob nedbrydning af organisk materiale til biogas og bakteriel biomasse forløber gennem fire overordnede processer: hydrolyse, acidogenese, acetogenese og methanogenese. De røde kasser markerer grupper af mellemprodukter, der kan anvendes som udgangspunkt for en optimeret procesregulering [9].

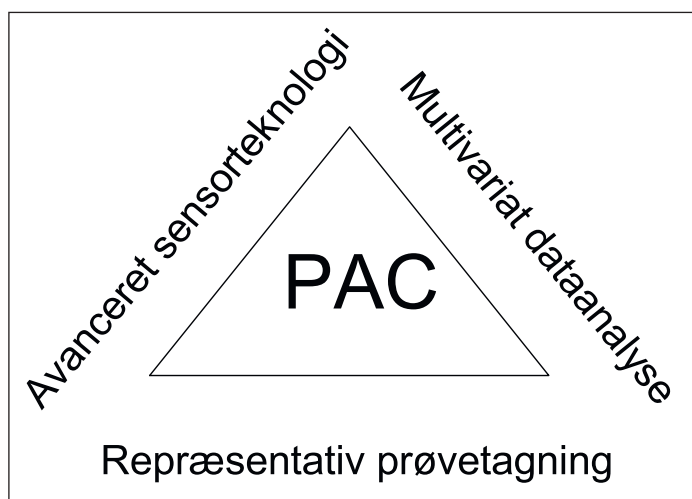
potentiale i både laboratorieskala og pilotskala og er på vej til at gøre sin entré på markedet.

## Biogasprocessen

Den overordnede nedbrydningsproces, hvor organisk materiale omdannes til biogas og bakteriel biomasse under iltfrie forhold (anaerobt), kan beskrives med et enkelt ord: *kompleks*. Forholdene i reaktoren skal tilfredsstille behovene for mange forskellige grupper af bakterier på samme tid. Manglende hensyntagen til forskelle i mikroorganismernes vækstrater og tolerance over for ændringer i de kemiske og fysiske forhold kan føre til proceshæmning og i værste fald procesnedbrud med store økonomiske tab til følge [1,2,3].

Et forenklet anaerobt nedbrydningsforløb med indikation af de vigtigste mellemtrin er angivet på figur 1.

Adskillige videnskabelige studier har udnævnt mellemprodukterne flygtige fede syrer (volatile fatty acids) som værende de bedst egnede styringsparametre. Relative ændringer i de enkelte VFA-syrers koncentration kan give tidlige advarsler om forestående procesubalance. I laboratorieforsøg er alarmerende tendenser i VFA-koncentrationerne observeret adskillige timer før ændringer kunne ses i gasproduktionen. Flygtige fede syrer af interesse er eddikesyre, propansyre, smørsyre, isosmørsyre, valerianesyre og isovalerianesyre. Summen af de nævnte syre betegnes total VFA og udgøres som regel overvejende af eddikesyre og propansyre [2,3,4].



Figur 2. Procesanalytisk kemometri, PAC, hviler på tre fundamentale discipliner: repræsentativ prøvetagning, avanceret sensorteknologi og multivariat dataanalyse (kemometri). [10,3].

## Procesanalytisk kemometri

Procesanalytisk kemometri, PAC, sammenkæder avanceret sensorteknologi med repræsentativ prøvetagning og multivariat dataanalyse mhp. at optimere produktivitet, energieffektivitet og kvalitet for en given proces. Repræsentativ prøvetagning (*Theory of Sampling*) er tidligere blevet beskrevet indgående i Dansk Kemi [7]. Den interesse-rede læser henvises til [8] for en nøgtern gennemgang af principperne bag repræsentativ procesprøvetagning på biogasanlæg.

Procesanalytisk kemometri er et *must* i enhver form for fermenteringsindustri, biogasproduktion inkluderet. Foreløbig er integrationen af de tre grundpiller afbildet på figur 2 endnu i sin spæde barndom. Den intensive forskning ved Aalborg Universitet Esbjerg forsøger ved erhvervsrettede forskningsprojekter at rette op på dette misforhold [8,10].

## Aktuelle resultater

På Aalborg Universitet Esbjerg er der gennem en årrække blevet udført forsøg med offline, atline og senest online nærinfrarød monitoring af biogasprocesser. Resultater fra laboratorieskala (5 L) og pilotskala (150 L) foreligger og publiceres senere i år. Den endelige *fuldskalaimplementering* indledtes i februar i år og pågår stadig [2,3,4].

Det er ingen kunst at få et tilstrækkeligt stort dataudspænd i både laboratorieskala og pilotskala. Løber processen løbsk, afbryder man blot forsøget og starter forfra. Frihedsgraderne indskrænkes gevaldigt, når det kommer til etablerede fuldskala-anlæg, der lever af at tjene penge. Et processammenbrud kan hurtigt føre til et driftstab og i værste fald et økonomisk tab i hundredetusindkroners- eller millionklassen.

## Perspektiver

For tiden findes der 21 fuldskala biogasanlæg i Danmark

samt omkring 60 gårdanlæg. Den primære biogasressource, der behandles på anlæggene, er husdyrgødning. Imidlertid er biogasudbyttet fra husdyrgødning særdeles moderat, hvorfor mere potente (fedtholdige) råvarer på nuværende tidspunkt må tilsættes for at sikre anlæggenes driftsøkonomi og rentabilitet.

Inden for få år forventes det første anlæg baseret udelukkende på gylle at se dagens lys. Løsningen er opkoncentrering af det organiske tørstof i gyllen (fiberfraktionen) gennem centrifugering ude på gårdene med efterfølgende central bioforgasning. Derved formindskes transportomkostningerne betragteligt og afhængighed af kvalitetsaffald reduceres - i bedste fald fjernes den helt.

Regeringens nye målsætning om en kraftig udbygning af biogassektoren kræver, at en række forudsætninger er opfyldt. Ud over en pristalsreguleret elpris på kr. 0,71 pr. kWh for elektricitet produceret på biogasanlæg er det meget vigtigt, at kunne styre og regulere biogasprocessen således, at der opnås så stabil en proces som muligt. Derved kan man i fremtiden styre den biologiske proces til understøtning af biogassens anvendelse i energisektoren, dvs. optimering af forsyningssikkerhed, energieffektivitet og energiregulering.

Procesanalytisk kemometri er ubetinget vejen at gå for at opfylde disse mål [3,4,6,7,10].

E-mail-adresser:

Michael Madsen: mima@bio.sdu.dk

Jens Bo Holm-Nielsen: jhn@aaue.dk

Kim H. Esbensen: kes@aaue.dk

## Referencer

- Holm-Nielsen, J.B., Andree, H., Lindorfer, H. og Esbensen, K.H. (2007). *Transflexive embedded near infrared monitoring for key process intermediates in anaerobic digestion/biogas production*, Journal of Near Infrared Spectroscopy, vol. 15, pp. 123-135, DOI: 10.1255/jnirs.719
- Larsen, K. og Møller, H. (2007). *On-line PAC-monitorering af meso-skala anaerob biomassenedbrydning*, Diplomingeniørspéciale, Aalborg Universitet Esbjerg
- Madsen, M. (2007). *Fuldskala on-line overvågning af biogasprocesser v.h.a. akustisk kemometri, nærinfrarød spektroskopi og procesprøvetagning – et proceskemometrisk grundstudie*, Cvilingeniørspéciale, Aalborg Universitet Esbjerg
- Holm-Nielsen, J.B., Lomborg, C.J., Oleskowicz-Popiel, P. og Esbensen, K.H. (2007). *On-line near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes - evaluation of process analytical technologies*, Wiley, Biotechnology and Bioengineering, DOI: 10.1002/bit.21571
- Jensen, J.K. og Jensen, A.B. (2000). *Biogas and natural gas fuel mixture for the future*, i: Proceedings at the 1<sup>st</sup> World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry, and Climate Protection, Sevilla, Spanien, ISBN: 1-902916-15-8
- Nielsen, H. B., Boe, K. og Angelidaki, R. (2006). *Optimering af biogasprocessen*, Forskning i Bioenergi, vol. 3, nr. 13, pp.1-3
- Esbensen, K.H., Petersen, L., Heydorn, K. Et al. Artikelserie bragt i Dansk Kemi, TOS I (Dansk Kemi, 83, nr. 9, 2002), TOS II (Dansk Kemi, 83, nr. 10, 2002), TOS III (Dansk Kemi, 83, nr. 11, 2002), TOS IV (Dansk Kemi, 83, nr. 12, 2002), TOS V (Dansk Kemi, 84, nr. 4, 2003)
- Holm-Nielsen, J.B., Dahl, C.K. og Esbensen, K.H. (2006). *Representative sampling for process analytical characterization of heterogeneous bioslurry systems—a reference study of sampling issues in PAT*, Elsevier, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 83, pp. 114-126, DOI: 10.1016/j.chemolab.2006.02.002
- El-Hadj, T.B. (2006). *Biodegradation of organic micropollutants in thermophilic and mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge*, Ph.d.-afhandling, University of Barcelona, Faculty of Chemistry and Physics, Department of Chemical Engineering, Spanien, ISBN: 84-690-2982-7
- Mortensen, P.P. (2006). *Process Analytical Chemistry – Opportunities and problems for bio-industrial implementation*, Ph.d.-afhandling, Aalborg Universitet Esbjerg, Forskningsgruppen ACABS, ISBN: 87-7606-017-9