

Energistyrelsen

Optimering af procesovervågning i biogasproduktion

Værktøj til optimering af biogasproduktion
- AnaStyr

Energiudvikling og demonstrationsprojekt

September 2017

(revision 1)

Udarbejdet til:
Energistyrelsen
Amaliegade 44
DK-1256 København K

Udarbejdet af:
EnviDan A/S
Projektnr.: j. nr. 64013-0522
Side 1 af 29

EnviDan

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	3
2. Sammendrag og konklusion	4
3. Summary and conclusion	5
4. Resultater og data for feasibility studie	6
4.1 Screening af sensormarkedet	6
4.1 Simple sensorer	7
4.1.1 Modeller	9
4.1.2 Biogasanlæg	14
4.2 Renseanlæg	14
4.2.1 Case: Herning Centralrenseanlæg	15
4.2.2 Horsens Centralrenseanlæg	16
5. Analyse - udvikling og afprøvning optimeringsværktøj	18
5.1 Simple sensorer til prognoseværktøj	18
5.2 Prognoseværktøj	20
5.2.1 Modellering af gasproduktion	21
5.2.2 Validering af prognoseværktøjet - Case: Ribe Biogas	22
5.3 Styringsparametre og styringsforslag	25
5.3.1 Brugerinterface	26
5.3.2 Forudsigelse af procesparametre	27
6. Kommercialisering - omsætning af resultaterne	28
7. Konklusion	28
8. Perspektivering	29

Bilagsfortegnelse

Bilag 1	Projektoplysninger
Bilag 2	Eksempel på on-line måleresultater
Bilag 3	Rapportering interview biogasanlæg
Bilag 4	Data for Herning og Horsens Centralrenseanlæg

1. Indledning

Projektet har til formål at udvikle værktøjer til at overvåge og styre biogasproduktionen på renselanlæg og biogasanlæg¹.

Projektet er delt op i to arbejdsopgaver.

- Arbejdsopgave 1 består af et feasibility studie, hvor state-of-the art på området undersøges.
- Arbejdsopgave 2 består af demonstration af sensorer og optimeringsværktøjet.

Motivationen for projektet har overordnet været ønske om at medvirke til optimeret drift på renselanlæg og biogasanlæg

Hidtil har renselanlæggenes primære formål med anaerob udrådning været at reducere slammængden og sekundært at producere energi, mens biogasanlæggenes har fokus på at producere gas og dermed energi. Renselanlæggenes har dog under indflydelse af den energipolitiske målsætning om accelereret udfasning af fossile brændsler fået øget fokus på energiproduktionen. Dermed har de to brancher inden for biogasproduktion ændret sig fra at have forskellige mål til at have mere ens fokus.

Det generelle billede i dag er, at rådetankene drives uden nogen form for onlinestyling. Procesovervågningen begrænser sig sædvanligvis til pH, flow- og temperaturmålinger. Herudover foretages manuelle målinger af fx tørstof. Med den nuværende drift og begrænsede styring af biogasproduktionen, ses der et stort potentiale for at kunne optimere udrådningen af biomasse, og dermed øge gasproduktionen.

Projektdeltagere:

EnviDan og EnviDan Energy (på ansøgningstidspunktet: GasCon).

- Projektledelse, afrapportering mv.
- Rådgivere indenfor biogas- og spildevandsområde

Århus Universitet, Institute of Engineering

- Afrapportering, laboratorieforsøg mv.
- Forskning indenfor biogasområdet

Herning Vand

- Sparringspartner

Maabjerg Energy Center - Biogas A/S

- Sparringspartner

Gruppen af deltager har betydet at det har været muligt at få belyst udfordringer og muligheder omkring udviklingen af et værktøj til udvikling af omkring drift overvåge og styre biogasproduktionen.

Projektet er startet op januar 2014 og blev afsluttet september 2016 under navnet *Optimering af procesovervågning i biogasproduktion* med undertitlen *Værktøj til optimering af biogasproduktion - AnaStyr*.

Energistyrelsen har støttet projektet via udviklingsprogrammet EUDP - Energiteknologi udvikling og demonstrationsprojekter.

Alle partnere har bidraget med enten data eller tekst til denne rapport.

¹ Projektoplysninger, se bilag 1.

2. Sammendrag og konklusion

Projektet har til formål at udvikle værktøj til at overvåge og styre biogasproduktionen på renseanlæg og biogasanlæg.

Motivationen for projektet har overordnet været et ønske om, at medvirke til optimeret drift på renseanlæg og biogasanlæg, med brug af simple sensorer og målinger

Hidtil har renseanlæggenes primære formål med anaerob udrådning været at reducere slammængden, og sekundært at producere energi, mens biogasanlæggene har fokus på at producere gas og dermed energi. Renseanlæggenes har dog under indflydelse af den energipolitiske målsætning om accelereret udfasning af fossile brændsler fået øget fokus på energiproduktionen. Dermed har de to brancher inden for biogasproduktion ændret sig fra at have forskellige mål til at have mere ens fokus.

Procesovervågningen begrænser sig sædvanligvis til metan, pH, flow- og temperaturmålinger. Herudover foretages manuelle målinger af fx tørstof. Med den nuværende drift og begrænsede styring af biogasproduktionen, ses der et stort potentiale for at kunne optimere udrådningen af biomasse, og dermed øge gasproduktionen.

Det har ikke været muligt at finde nye typer af sensorer til online-måling på grund af den komplekse kemi og vanskeligheder med automatisk prøvetagning og måling direkte i biogasreaktoren. Derfor blev det forsøgt at kombinere forskellige hardware sensorer med empiriske software beregninger, for at estimere en parameter som f.eks. VFA, der er vanskelig og dyr at måle.

Under projektet blev der udført målinger og beregninger på baggrund af bl.a. redoxelektrode, ledningsevne måler og pH elektrode, hvor det viste sig muligt at estimere TAN (kvælstof) med fornuftig præcision.

Sideløbende blev der opstillet en model for et prognoseværktøj, der anvendes til at forudsige biogasproduktionen, ud fra procesforhold og foderplan. Prognoseværktøjet tager udgangspunkt i en Gompertz-model, der blev anvendt til modellering af den specifikke gasproduktion per organisk stof. Modellen blev fittet til allerede kendte data (batchudrådninger) for derved at tilpasse modellens parametre til faktisk data. Sammen med en massebalance for tilførte biomasser blev prognoseværktøjet udviklet til at kunne forudsige gasproduktionen på fuldskalaanlæg.

Værktøjet blev valideret på et anlæg med god præcision for gasproduktionen for det givne anlæg.

Ved brug af værktøjet, vil der kunne der planlægges en foderplan for anlægget, som kan optimeres i forhold til, mængden af gas der kan sælges fra anlægget. Udover en optimering af de økonomiske forhold under almindelig drift, kan driftsdata og prognosedata bruges til overvågning af anlæggets belastning. Belastningen kan beskrives igennem forskellige parametre, herunder hydraulisk belastning, tørstofbelastningen, ammonium hæmning og organisk belastning. Afvigelser mellem anlæggets realiserede gasproduktion og modellens beregnede produktion kan anvendes til at detektere om anlæggets proces fungerer som forventet - eller til at kontrollere om modtagne biomasser yder den forventede gas.

Modellen foreligger i en beta-version, der skal videreudvikles og testes, således at specielt anvendeligheden og opsætningen i forskellige anlægskonfigurationer etableres, og de opnåede resultater valideres på flere forskellige anlæg. Samtidigt med dette skal der udvikles brugerinterface, der let og enkelt kan tilpasses forskellige brugeres behov. EnviDan planlægger en test på 1-2 yderligere anlæg, og har herefter til hensigt at tilbyde et optimeringsprodukt baseret på Anastyr, sammen med sine øvrige portalprodukter.

3. Summary and conclusion

The Anastyr- project is aimed at developing tools, for predicting and controlling the biogas production, at sewage treatment plants and biogas plants.

The main objective is to enhance biogas production, detect process instabilities early, and to enable the plants to predict their production based upon the feeding plan and simple and robust sensors.

The primary aim for sewage treatment plants is to reduce the amount of sludge, and production of biogas is normally secondary to this. Biogas plants on the other hand, are mainly focused on the biogas production, as this is normally their only source of income.

In the light of recent political targets of reducing use of fossil fuels, even sewage treatment plants have focused more on energy production. Thus, the two main biogas producing areas have changed in the direction of more unified focus.

Process control often is limited to measuring methane, pH, flow- and temperature. Normally this is supplemented by registering all incoming streams either on flowmeters or weighbridges, and manual measurement of the dry matter content and volatile solids.

With current operations and limited control of the biogas production, there is a great potential for optimization of the anaerobic processes and thus increase production.

It has not been possible to identify new types of sensors suitable for online measurements, as the biomasses found in especially biogas plants generally are too complex chemically and very inhomogeneous. As a result, a combination of various hardware sensors combined with empirical software calculations has been tested with the aim of replacing expensive and difficult sensoric solutions with much simpler and robust equipment.

During the project, measurements and calculations based upon among others redox-electrodes, conductivity and pH combined has been used to replace expensive and difficult measuring to achieve reasonable good estimates of TAN (Total Nitrogen).

As it became apparent, that sensors were difficult to implement, it was decided to focus on extracting process information from parameters already measured and registered at the plants. A model for predicting biogas production primarily upon knowledge of process conditions and feedstock was developed and tested. The prediction tool is based upon the Gomperz-model, modelling the specific gas production per organic fraction fed to the digester. The model was fitted to already known data from batch-tests which was used to calibrate the model to actual data. Combined with mass-balance analysis the tool was developed into a beta-version able to predict gas production on biogas reactors based upon real life data.

The model was tested using real full-scale data, and the model predictions validated against actual performance.

The tool can be used to form a feeding plan for the biogas plant, optimized in relation to the amount of biogas it will be possible to utilize. Apart from optimizing economic conditions during normal operation, the obtained data and calculations can also be used to supervise and optimize the operation of the plant. Abnormal conditions leading to reduced methane production, and process inhibition can be detected earlier - or to ascertain that received biomasses actually have a biogas yield as specified and expected.

EnviDan plans to continue testing the beta-version on 1-2 plants, developing it into a commercial tool which can be marketed together with EnviDan's other software suites.

4. Resultater og data for feasibility studie

Første del af projektet: Optimering af procesovervågning i biogasproduktion (efterfølgende benævnt AnaStyr) omfattede kortlægning af eksisterende måledata og databehandling af dette, samt screening af sensormarkedet til brug for biogasanlæg og renseanlæg. Feasibility studiet er også benævnt som arbejdsopgave 1.

4.1 Screening af sensormarkedet

Biogasanlæg er i dag automatiserede ved brug af SCADA-systemer, men kemiske og biologiske parametre måles oftest kun sparsomt. Ved anvendelse af on-line måleinstrumenter vil processen kunne optimeres og omkostningstunge procesproblemer undgås. Kravet til on-line måleudstyr vil være at det skal være enkelt, pålideligt og samtidigt med at prisen skal være acceptabel.

Et stort antal parametre vil være interessante at kunne måle på et biogasanlæg og i princippet kan en del af disse allerede måles online. Følgende parametre vil bl.a. kunne være af interesse, at måle on-line i reaktoren:

- pH
- redoxpotentiale
- ledningsevne
- tørstof
- ammoniak
- alkalinitet
- VFA

En del af disse parametre kan i dag måles online medens andre som f.eks. VFA stadig er vanskelige at måle. On-line måling af VFA er således stadig på forsknings- og udviklingsstadiet. VFA måles typisk i et laboratorium ved gaskromatografi (GC) eller titrering. GC muliggør opgørelse af de enkelte VFA typer, medens titrering kun giver total VFA. Alkalinitet måles ligeledes ved titrering.

VFA er den hyppigste anvendte indikator til måling af processtanden, men indtil videre er de eneste metoder til on-line måling af VFA dyre i anskaffelse, og vanskelige at anvende og vedligeholde. De udviklede on-line metoder til VFA-måling er for det meste begrænset til forskning og der er kun få kommercielle produkter på markedet. Fordele og ulemper ved nogle af disse metoder er beskrevet nedenfor:

Gaschromatografi med automatisk prøveforberedelse

- Fordel - Præcis måling af de enkelte VFA typer
- Ulempe - Komplex og dyr proces der kræver en del ekspertise og vedligehold
- Pris - sælges ikke kommercielt, men prisen vurderes at være minimum 400.000 kr.

Automatisk titrering - online

- Fordel - Måler også alkalinitet
- Ulempe - Ret kompleks og følsomt udstyr. Måler kun total VFA
- Pris - 350.000-550.000 kr., leverandør: Metrohm

Near infrared spectroscopy

- Fordel - Meget lave vedligeholdelsesomkostninger, kan samtidigt måle andre relevante parametre
- Ulempe - Præcisionen er følsom over for ændringer i substratsammensætning, da metoden er indirekte og kræver stort kalibreringsarbejde.
- Pris - 300.000 -500.000 kr., leverandør: Metrohm, Foss electric, Q-interline

På grund af den komplekse kemi og vanskeligheder med automatisk prøvetagning og måling direkte i biogasreaktorer, forsøges det at kombinere forskellige hardware sensorer med empiriske software beregninger, for at estimere en parameter som f.eks. VFA, der er vanskelig og dyr at måle.

I forhold til målinger i væskefasen er gas målinger ofte relativt enkle at måle, hvis det udelukkende er hovedkomponenterne CH₄ og CO₂ der er behov for. Dette kan gøres med infrarød sensorer, som er pålidelige og lette at montere. Måling af andre gaskomponenter i biogas kan være mere kompliceret, for eksempel kan H₂ og H₂S måles med elektrokemisk celle, men disse er ikke særligt robuste. Anvendelse af gassammensætningen til processtyring er ikke særligt brugt, da sammensætningen mest er en funktion af det anvendte substrat, og ændringer derfor kun i et vist omfang kan tilskrives proces-stabilitet.

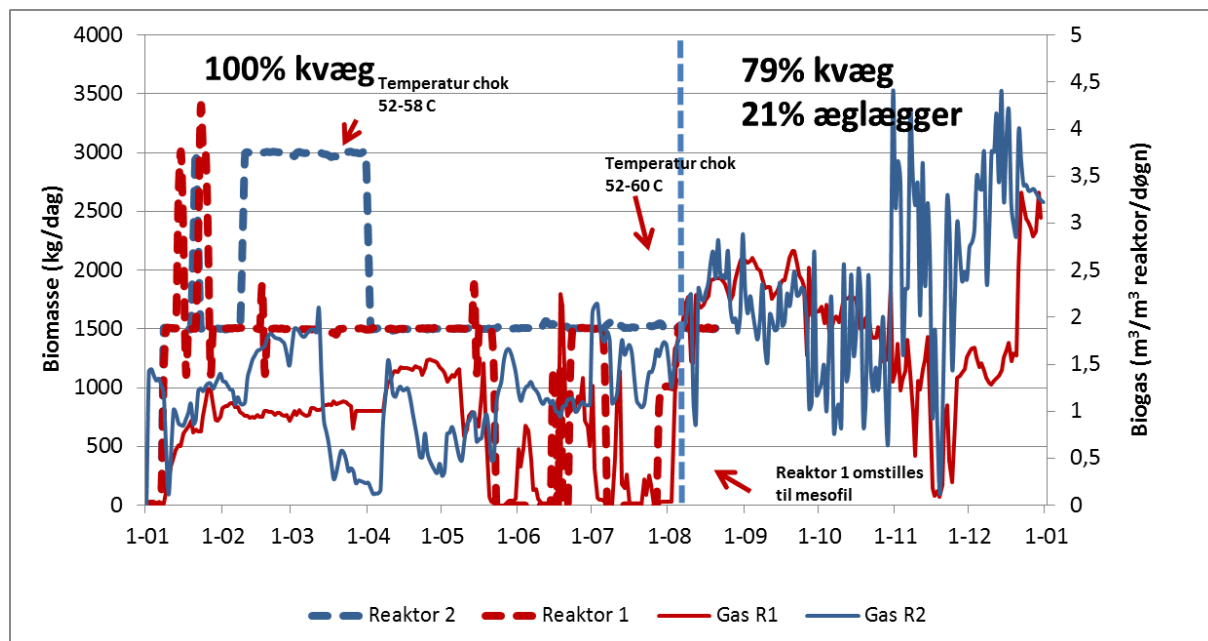
I AnaStyr projektet har det fra starten været besluttet at fokus skulle være på simple sensorer og det udstyr der er udviklet til on-line VFA måling i dag er derfor fravalgt, fordi det er for dyrt og komplekst til at det vurderes, at kunne finde udbredelse inden for en kortere tidshorizont. Det er derfor besluttet at fokusere på kommercielt tilgængelige sensorer, der allerede er på markedet inden for andre sektorer.

4.1 Simple sensorer

I forlængelse af screeningen af sensormarkedet er der udvalgt 3 sensorer der er afprøvet i en forsøgsopsætning på forskningscenter Foulum. De udvalgte sensorer er redoxelektrode, ledningsevne måler og pH elektrode.

Afprøvningen er gennemført i forsøgsanlæggets to 30 m³ reaktorer. Reaktorerne er i første periode kørt med kvæggylle og i efterfølgende periode med en blanding af kvæggylle og æglægger gødning. Driftsparametrene er løbende ændret i forhold til belastning og i to tilfælde er temperaturen øget med henblik på at give proces ubalance, for således at give de kemiske parametre så stort spænd som muligt.

I nedenstående figur er biomassetilførslen og gasproduktionen vist.

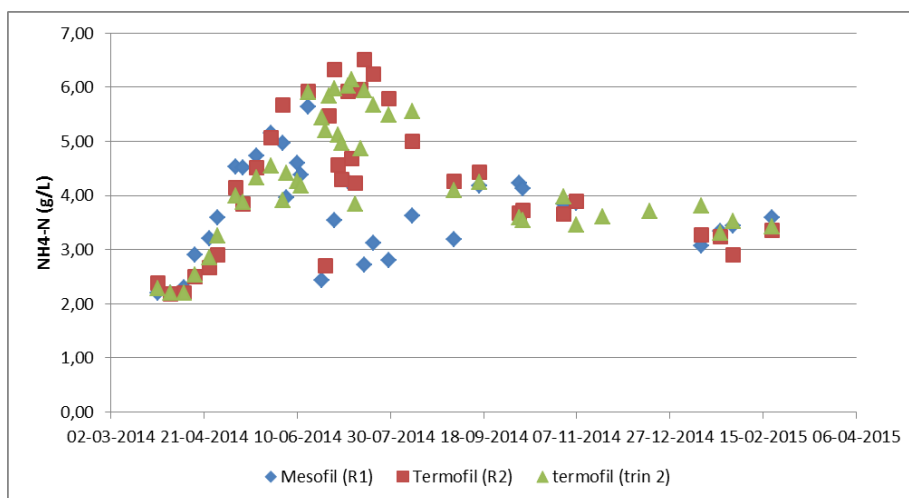


Figur 1: Driftsdata for forsøg i pilotreaktorer.

I perioden er følgende kemiske parametre målt udover sensormålingerne:

- VFA (eddikesyre, propionsyre, smørsyre, valerianesyre)
- Alkalinitet
- NH₄-N
- Total N
- TS/VS

I nedenstående figur er NH₄-N koncentrationen over tid vist. Det fremgår at NH₄-N koncentrationen når et meget højt niveau specielt i den termofile reaktor.



Figur 2: Koncentrationen af NH₄-N i forsøgsreaktorer.

Ønsket med sensor målingerne er dels at blive i stand til bedre at kunne styre processen, og dels som et "early warning" system til at undgå proces problemer inden det er for sent at rette op, og dermed undgå omkostningstunge procesnedbrud.

On-line sensorerne foretager målinger hvert 4. minut på udpumpningsstrengen fra reaktorerne, men da det afgassede materiale kun pumpes ud 4 gange om dagen trækkes data kun ud i de perioder hvor pumpen kører. Data er således efterfølgende blevet renset så udelukkende målinger foretaget samtidigt med at pumpen kører anvendes.

Generelt har sensorerne været pålidelige efter en kortere indkøringsperiode. Det har imidlertid vist sig nødvendigt med kalibrering og rensning ca. hver 14 dag. Specielt pH og redox elektroden er følsomme overfor belægninger med struvit. Ved montering direkte i reaktoren vil der sandsynligvis være færre problemer med belægninger, men montering og demontering vil være vanskeligere. I bilag 2 ses et eksempel på on-line måleresultater suppleret med VFA måling fra laboratoriet illustreret.

4.1.1 Modeller

Generelt anses indholdet af total VFA og indholdet af de enkelte VFA typer som den vigtigste proces parameter. Derudover er TAN ($\text{NH}_4\text{-N}+\text{NH}_3\text{-N}$) indholdet en vigtig parameter da den ofte kan være årsag til proceshæmning. Der er derfor udført en statistisk analyse med henblik på, at udarbejde modeller til at estimere total VFA indholdet og NH_4 indholdet ved anvendelse af on-line målinger, suppleret med enkelte kemiske analyser.

Der er udarbejdet følgende statistiske modeller:

VFA: Ledningsevne, pH, $\text{NH}_4\text{-N}$

VFA: pH og $\text{NH}_4\text{-N}$

TAN: Ledningsevne

TAN: Ionselktiv elektrode

VFA: Alkalinitet og TAN

Model (VFA: Ledningsevne, pH, $\text{NH}_4\text{-N}$)

Der er gennemført en række multivariante statistiske regressionsanalyser til udarbejdelse af model til beregning af VFA ud fra ledningsevne, pH og TAN ($\text{NH}_4\text{-N}+\text{NH}_3\text{-N}$). I de statistiske analyser er der indgået målinger fra en række forsøg, og der er udarbejdet modeller for forsøg med hhv. bestemte substrater og for et miks af alle substrater. Følgende forsøg og substrater er indgået i analysen:

- Miks af kvæg og kyllingegødning ved mesofil/termofil drift og proces ubalancer i form af temperaturchok og stødbelastninger
- Prøver fra 16 forskellige danske biogasanlæg i forskellige procestrin
- Kvæggylle og græs med forskellige reaktor konfigurationer i form af 1 trins og seriedrift
- Forsøg med pulsbelastninger med letomsætteligt materiale til reaktorer med basislast af kvæggylle
- Anaerob filterreaktor med svinegylle

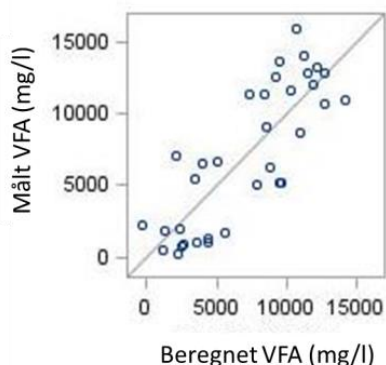
Komponenterne bidrager til modellen i følgende rækkefølge: Ledningsevne>pH>TAN. Ledningsevne er den komponent der bidrager mest til modellen, men pH forbedrer modellen signifikant, og TAN kanforbedre modellen i mindre omfang.

Miks af kvæg og kyllingegødning:

Den bedst mulige model ud fra de tilgængelige data har følgende form:

$$VFA = 69806 - 10680 \times pH - 1049 \times TAN + 1046 \times \text{Ledningsevne}$$

Korrelationen (R^2) har en værdi på 0,69, hvilket anses for acceptabelt til at kunne skønne VFA udviklingen i reaktoren. I nedenstående figur fremgår VFA beregnet ved modellen sammenholdt med målingen målt med GC.



Figur 3: Målte og beregnede VFA værdier.

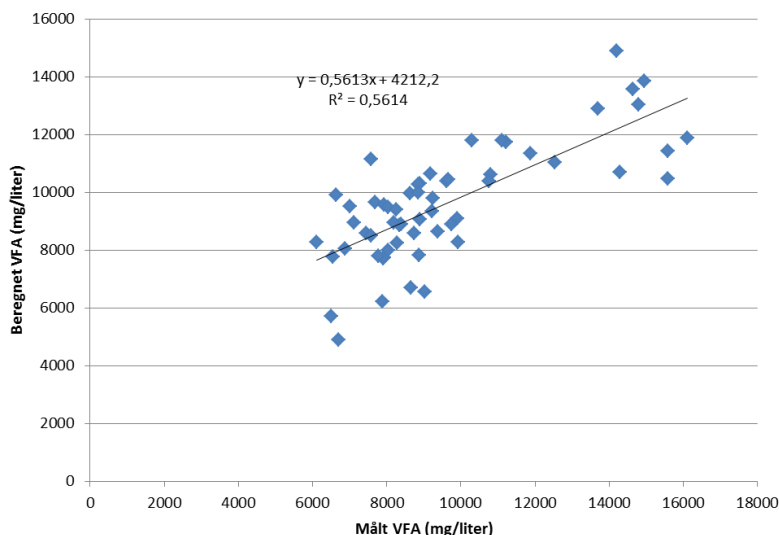
Det fremgår af figuren, at de beregnede VFA værdier ikke forudsiger den målte VFA værdi særligt godt i den lave ende, med VFA målinger under 5000 mg/liter. Dette er en svaghed for anlæg der kører stabilt med lavt VFA indhold og on-line sensor målinger med pH og ledningsevne giver derfor kun en begrænset værdi for denne type anlæg. På anlæg med meget stabil drift vil anvendelsen derfor kun have værdi som et "early warning" system.

Kvæggylle og græs:

Den bedst mulige model ud fra de tilgængelige data har følgende form:

$$VFA = 56521 - 8988 \times pH + 3773 \times TAN + 1046 \times Ledningsevne$$

Korrelationen (R^2) har en værdi på 0,56, hvilket anses for acceptabelt til at kunne skønne VFA udviklingen i reaktoren, men da undersøgelsen ikke indeholdt data med lave VFA værdier er modellen ikke så stærk. I nedenstående figur fremgår VFA beregnet ved modellen sammenholdt med målingen målt med GC.



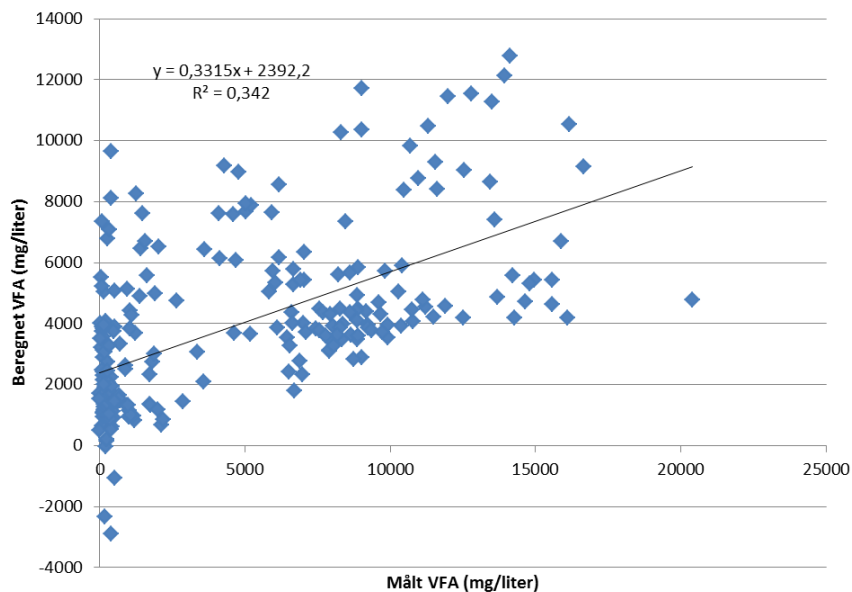
Figur 4: Målte og beregnede VFA værdier.

Global model for alle forsøg of substrater:

Den bedst mulige model ud fra de tilgængelige data har følgende form:

$$VFA = 16858 - 2567 \times pH + 2125 \times TAN + 76 \times \text{Ledningsevne}$$

Korrelationen (R^2) har en værdi på 0,34, hvilket ikke anses for acceptabelt til at kunne skønne VFA udviklingen i reaktoren med tilstrækkelig præcision. Det vurderes således nødvendigt at have individuelle modeller der passer til substrater der anvendes i reaktoren. I nedenstående figur fremgår VFA beregnet ved modellen sammenholdt med målingen målt med GC.



Figur 5: Målte og beregnede VFA værdier.

Måbjerg er et eksempel på et anlæg med stabil drift med lave VFA indhold. I en længere periode har anlægget målt pH, ledningsevne og VFA ved titrering. I perioden er der kun fundet en svag sammenhæng mellem VFA og ledningsevne, hvilket hænger sammen med det lave spænd i VFA data. En anden årsag kan være at VFA er bestemt ved titrering der ligeledes ikke er særligt præcis i den lave ende hvilket betyder at det statistiske grundlag for modellering er for svagt.

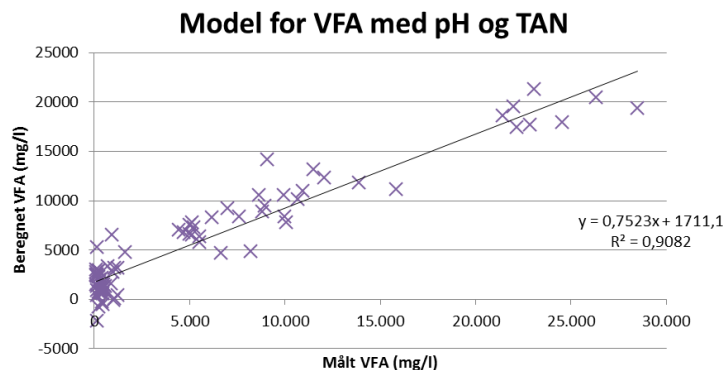
Model (VFA: pH og NH₄-N)

Der er gennemført en multivariant statistisk regressionsanalyse til udarbejdelse af model til beregning af VFA ud fra pH i forsøg med miks af kvæg og kyllingegødning. I den statistiske analyse er der indgået 168 målinger.

Komponenterne bidrager til modellen i følgende rækkefølge: NH₄>pH. NH₄ er den komponent der bidrager mest til modellen men pH forbedrer modellen signifikant. Den bedst mulige model ud fra de tilgængelige data har følgende form:

$$VFA = 51989 - 7099 \times pH - 2920 \times TAN$$

Korrelationen (R^2) har en værdi på 0,90, hvilket anses for acceptabelt til at kunne skønne VFA udviklingen i reaktoren. I nedenstående figur fremgår VFA beregnet ved modellen sammenholdt med målingen målt med GC.



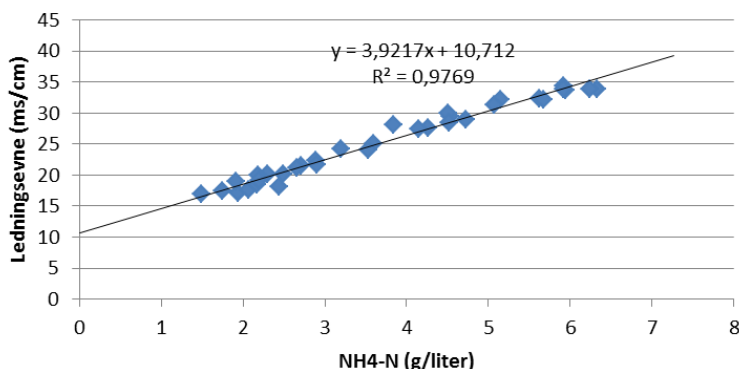
Figur 6: Målte og beregnede VFA værdier.

Det fremgår af figuren, at de beregnede VFA værdier ikke forudsiger den målte VFA værdi særligt godt i den lave ende, med VFA målinger under 5000 mg/liter. Dette er en svaghed for anlæg der kører stabilt med lavt VFA indhold. På anlæg med meget stabil drift vil anvendelsen derfor primært have værdi som et "early warning" system.

Model (NH4: Ledningsevne)

Miks af kvæg og kyllingegødning:

Der er udarbejdet simpel regression til bestemmelse af TAN vha. ledningsevne. Det fremgår af nedenstående figur at der er en meget stærk sammenhæng mellem ledningsevne og TAN i den testede biomasse som består af kvæg og kyllingegødning. Der er således et stort potentiale for at bruge ledningsevnen til at forudsige TAN indholdet ved online målinger.



Figur 7: Sammenhæng mellem TAN og ledningsevne i afgasset materiale fra kvæg-og kyllingegødning.

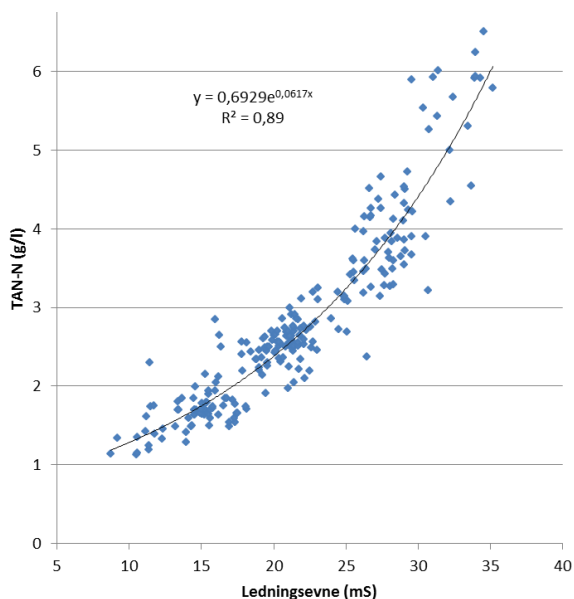
Global model for alle forsøg of substrater:

Med baggrund i de meget positive resultater med anvendelse af ledningsevne til at forudsige TAN blev et stort antal prøver analyseret for ledningsevne og TAN.

Den bedst mulige model ud fra de tilgængelige data har følgende form:

$$TAN = 0,69 * \exp(0,062 * Ledningsevne)$$

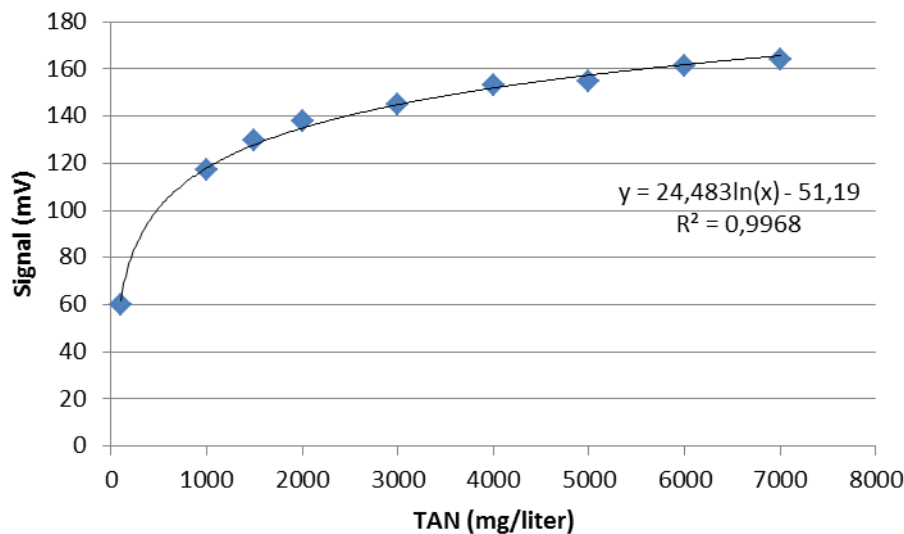
Korrelationen (R^2) har en værdi på 0,89, og det er således muligt at anvende en global model for forskellige biomasser der med en god præcision kan forudsige TAN indholdet ved anvendelse af en enkelt måling i form af ledningsevne. I nedenstående figur fremgår sammenhængen mellem ledningsevne og TAN.



Figur 8: Figur over ledningsevne versus TAN.

Model (TAN: ionselektiv elektrode)

Der er afprøvet en ionselektiv elektrode til bestemmelse af TAN. I Kalibreringskurve er vist i nedenstående figur. Det fremgår, at der ikke er en særlig god lineær sammenhæng men til gengæld er der en god logaritmisk sammenhæng. Der er udført enkelte forsøg med afgasset biomasse og det kan konkluderes at en ionselektiv elektrode med høj præcision kan bestemme TAN indholdet. Tidsforbruget ved anvendelse af ionselektiv elektrode er imidlertid lige så højt som anvendelse af fotometriske metoder og da det viste sig vanskeligt at anvende den on-line er der kunne ringe incitament til at anvende metoden.



Figur 9: TAN indhold og signal fra ionselektiv elektrode.

4.1.2 Biogasanlæg

Der er i sommeren 2014 udført en kortlægning af eksisterende drift og monitoringsbestykning på biogasanlæg. Kortlægningen var baseret på spørgeskemaer og besøg på anlæggene. Konklusionen blev, at der er ønske om værktøj der kan forudsige gasproduktion, men ikke direkte efterspørgsel på onlinemonitering og -styring af anlæggene. Det vurderes, at den manglende efterspørgsel bl.a. skyldes, at udbuddet af kommercielt tilgængelige online løsninger er meget begrænset, hvorfor driftspersonalet ikke er kendte med løsninger der fungerer. Det begrænsede udbud skyldes at de biomasser, som udrådnes på anlæggene ofte er komplekse og inhomogene, og derfor svære at udføre online-målinger på.

Kortlægningens resultater blev efterfølgende anvendt af projektgruppen til at definere, hvilke parametre biogasanlæggene ser en værdi i at kende.

Biogasanlæggene har et ønske om i højere grad og mere præcist at kunne regulere og forudsige gasproduktionen. Det vil give værdi i højere grad at kunne optimere afsætningen af biogassen, og undgå dage med for høj produktion, hvor man er nødt til at fagle gassen af. Værktøjet vil endvidere kunne bruges til at vurdere, om processen kører stabilt, og resulterer i den forventede metandannelse. Det vil dermed også kunne beregnes, om biomassernes metanproduktion modsvarer forventningerne, og dermed kan betale de omkostninger, der er knyttet til de enkelte biomasser.

Det blev derfor besluttet, at påbegynde udarbejdelsen af et værktøj til forecast på gasproduktionen, med udgangspunkt i de parametre der allerede måles og registreres. Sideløbende undersøgte markedet for online måleudstyr, og der er udført forsøg med praktisk anvendelse og beregninger procesparametre ud fra målinger af bl.a. pH og alkalinitet.

I værktøjsmodellen vil biogasproduktionen som udgangspunkt blive baseret på:

- Fraktionsopdelt biomasse, således at der tages hensyn til at biomasse oplagres og opblandes for det møder rådnepanden ved bl.a. ophold i modtagetanke
- Differentiering af biogasproduktionen for de enkelte biomasser, således at der tages hensyn til gasudviklingen for forskellige biomasser.
- Estimering af gasproduktion baseret på to variabler (hastigheden for gasudvikling og max produktion), som forventes at kunne finjusteres til de mangeartede biomasser på anlæggene.

Modellen kan anvendes alene som prognoseværktøj ud fra registreret indfødning, men vil også kunne simulere andre foderplaner og dermed bruges til at planlægge indfødning.

Datagrundlaget inkluderer:

- Online-måling af flow og mængder ind/ud af tanke og reaktorer
- Levering af biomasse (foderplan)
- Tilpasset estimering af det specifikke gasudbytte

Styring af anlæg med en højere grad af online-styring vil kræve en udvikling af eksisterende online-sensorer. Derudover er der behov for dokumentation for, at en øget styring bidrager positivt til driften når de høje omkostninger til sensordrift og måling skal betales.

En uddybning af kortlægningen af eksisterende drift/styring og bestykning på biogasanlæg findes i bilag 3.

4.2 Renseanlæg

På renseanlæg er "råvaren" i modsætning til gyllebaserede biogasanlæg med samdrådnings af industrielle produkter typisk mere forudsigelig. Den daglige slamproduktion varierer ikke væsentligt fra

dag til dag, men vil typisk være sæsonbetonet, idet slamindholdet i aktiv slamanlægget normalt tilpasses efter vandtemperaturen. Således udtages mere slam om sommeren, hvor den biologiske omsætningshastighed er høj sammenlignet med en kuldeperiode.

Ud over behandling af slam fra selve renselanlægget, modtager flere anlæg organisk materiale fra fødevarerindustrier, kildesorteret husholdningsaffald, flotationsslam, fedt fra fedtudskillere etc.

Instrumentering af måleudstyr i forbindelse med rådnetanke på renselanlæg omfatter bl.a. følgende:

Anvendes typisk altid:

- Flowmåler på tilløb
- Temperaturmåler i reaktor

Anvendes ofte:

- Metanmåler på gasflow
- Tørstofmåler på tilløb

Anvendes sjældent:

- VFA måler

Generelt er informationsstrømmen fra sensorer på rådnetanke meget beskedent sammenlignet med spildevandsbehandlingen i aktivt slamanlæg. Det er vores vurdering, at det primært skyldes den fokus, der er på det rensede spildevand og de tilhørende spildevandsafgifter.

Imidlertid er der også væsentlige driftsøkonomiske incitamentter til også at sætte fokus på styring og regulering.

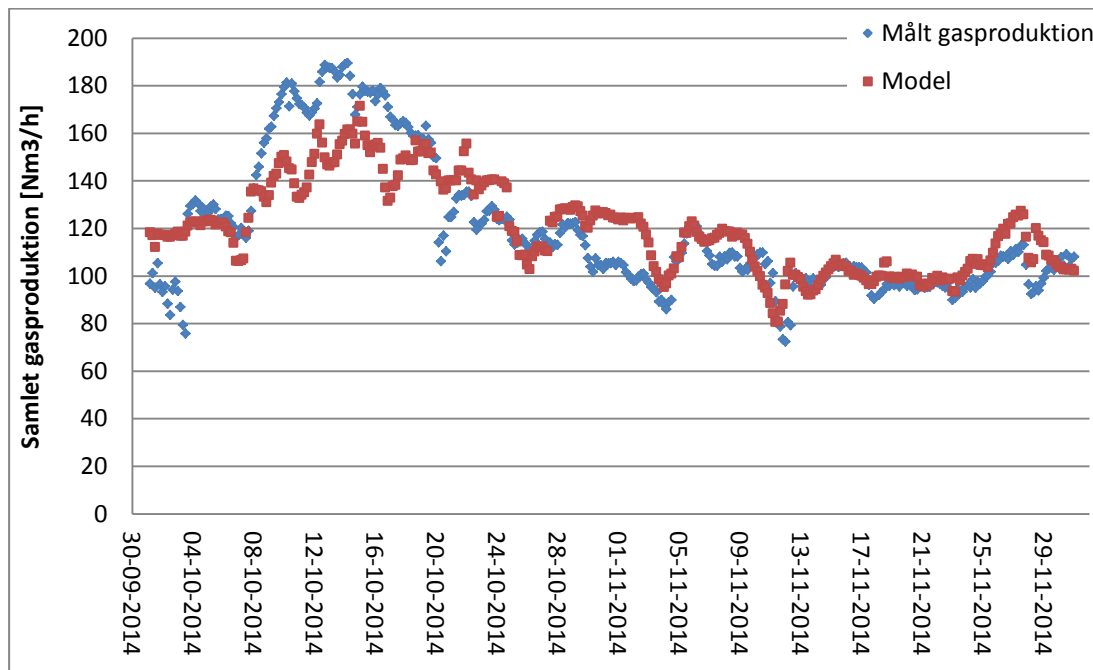
4.2.1 Case: Herning Centralrenseanlæg

Herning Centralrenseanlæg har to rådnetanke i serie, der drives temperaturdifferentieret således den første rådnetank drives i det termofile temperaturområde (ca. 52-55 °C) og den anden rådnetank drives i det mesofile temperaturområde (35-39 °C). Herning Centralrenseanlæg er et to-trins anlæg med udtag af primærslam og biologisk overskudsslam.

Der er modtaget data for rådnetankene i perioden 01.10-2014 - 01.12-2014, jf. bilag 4. Formålet med dataindsamlingen har været at kunne forudsige driftsforstyrrelser og gasproduktion på baggrund af registrerede parametre for indgående slamfraktioner på rådnetankene og registrerede parametre for rådnetankene.

Model for gasproduktion

Ud fra en simpel modelbeskrivelse af COD-indhold i biologisk overskudsslam og COD-indhold i primærslam samt forventet COD-reduktion i rådnetankene for de to slamtyper har det været muligt at modellere den producerede gasproduktion tilfredsstillende, jf. **Figur 10**.



Figur 10: Modelleret gasproduktion sammenholdt med den målte gasproduktion.

Af Figur 10 fremgår, at den modellerede gasproduktion overordnet simulerer de variationer, der er i gasproduktionen og samtidigt følger den målte gasproduktion fint over længere perioder. Modellens afvigelser fra den målte gasproduktion, der er mest udpræget i perioden 08.10.2014-18.10.2014 og 29.10.2014-03.11.2014 vurderes at skyldes naturlige variationer i primærslammets sammensætning, hvilket modellen ikke tager højde for.

Indikationer på afvigende rådnetanksdrift

Gennemgangen af data fra Herning Centralrenseanlæg har haft til hensigt at spotte eventuelle indikatorer på afvigende rådnetanksdrift. Da Herning Centralrenseanlæg har haft en meget stabil og lavt belastet rådnetanksdrift, har det ikke ud fra datagennemgangen været muligt at gå dybere ind i en diskussion omkring, hvilke parametre, der med fordel kan indgå i en styringsalgoritme til rådnetanksoptimering. I bilag 4 ses de behandlede data fra Herning Centralrenseanlæg.

I den videre modeludvikling anbefales, at gennemgå data fra et mesofilt eller termofilt rådnetanksanlæg, der gennem en længere periode har været overbelastet for opsætning af styringsalgoritme til rådnetanksoptimering.

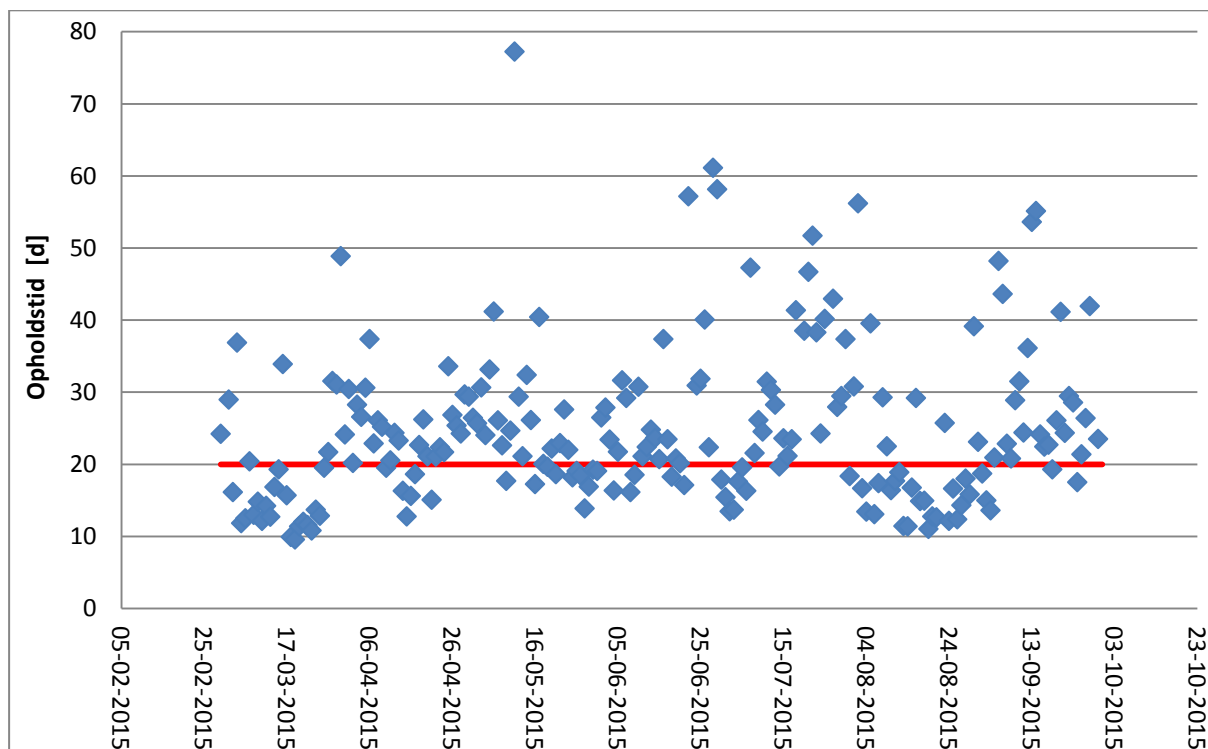
4.2.2 Horsens Centralrenseanlæg

Horsens Centralrenseanlæg har to rådnetanke i serie, der drives i det mesofile temperaturområde (35-40 °C). Horsens Centralrenseanlæg er et to-trins anlæg med udtag af primærslam og biologisk overskudsslam.

Der er modtaget data for rådnetankene i perioden 01.03-2015 - 30.09-2015. Formålet med dataindsamlingen har været at kunne forudsige driftsforstyrrelser og gasproduktion på baggrund af registrerede parametre for indgående slamfraktioner på rådnetankene og registrerede parametre for rådnetankene.

I den første periode fra marts til ultimo april 2015 har temperaturen i rådnetankene varieret forholdsvist meget. Temperaturen har varieret mellem knap 34 °C og godt 40 °C, jf. bilag 2.

I forhold til Herning Centralrenseanlæg er Horsens Centralrenseanlægs rådnetanke periodisk hårdt belastet, idet opholdstiden for god stabil udrådning ved mesofil drift helst skal ligge over 20 døgn. På Figur 11 fremgår, at opholdstiden i rådnetankene på Horsens Centralrenseanlæg periodisk ligger under den anbefalede opholdstid.



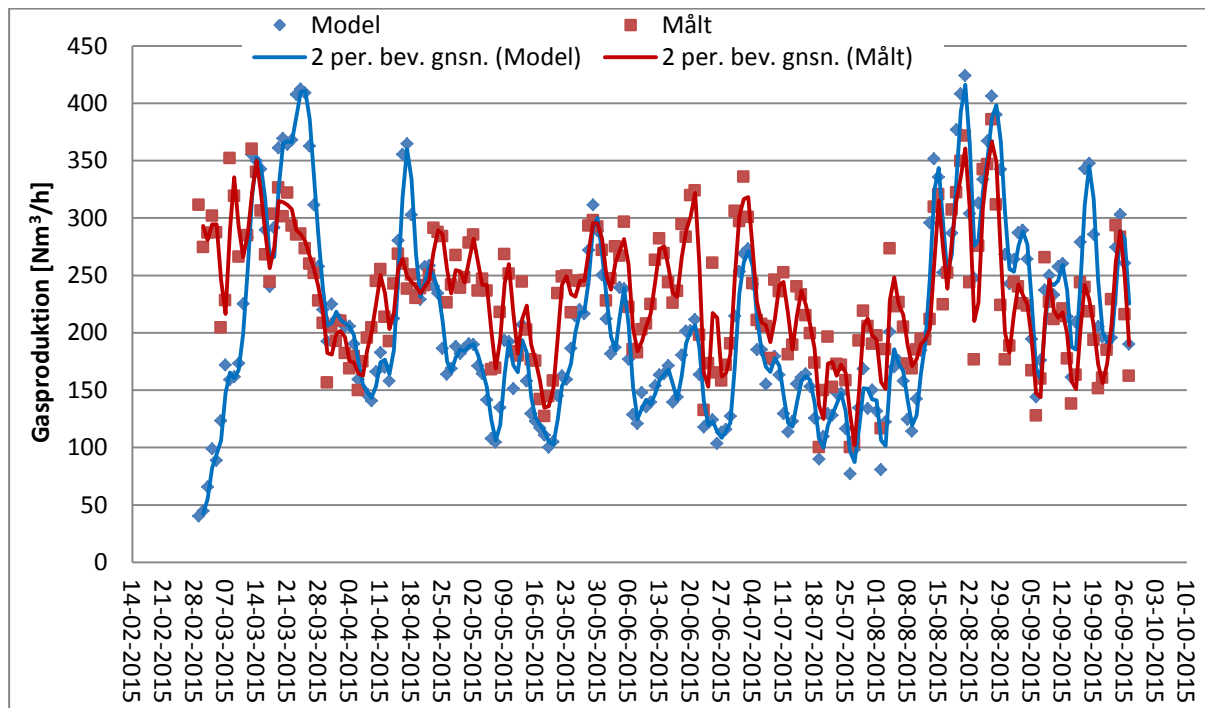
Figur 11: Opholdstid - rådnetanke. Rød linje viser den anbefalede opholdstid for mesofil drift.

Model for gasproduktion - Horsens Centralrenseanlæg

Den simple modelbeskrivelse baseret på COD-indhold i biologisk overskuds­slam og COD-indhold i primærslam samt forventet COD-reduktion i rådnetankene for de to slamtyper er igen benyttet til modellering af den producerede gasproduktion. Derudover er en mere avanceret Gompertz-model benyttet til modellering af den producerede gas, baseret på lag-fase for substrat, maksimal døgnproduktion samt en maksimal gasproduktion til tiden uendelig. I bilag 4 er vist begge modeller tilpasset den målte gasproduktion.

Det er valgt, at arbejde videre med en Gompertz-model, da denne vurderes at have bedst egnede modelvariable til beskrivelse af alle substrater. Den simple modelbeskrivelse baseres på erfaringsværdier for COD-indhold og nedbrydning, hvilket kun i mindre grad kendes på produkter benyttet på biogasanlæg. Af bilag 4 fremgår ligeledes, at Gompertz-modellen forudsiger gasproduktionen mindst ligeså godt som den simple model og i nogle sammenhænge endda bedre.

På Figur 12 er vist Gompertz-model for gasproduktionen sammenholdt med den målte gasproduktion på Horsens Centralrenseanlæg.



Figur 12: Modelleret gasproduktion sammenholdt med den målte gasproduktion.

Af Figur 12 fremgår, at den modellerede gasproduktion overordnet simulerer udsvingene i gasproduktionen, men med en tendens til at underestimere den producerede mængde. Dette vurderes hovedsageligt, at være forårsaget af, at den registrerede mængde primærslam og eller mængde biologisk overskudsslam er underestimeret. Det er kun ganske små afvigelser på flowmålere og tørstofmålere, der skal til, før det får indflydelse på, hvor godt modelværktøjet kan tilpasses. Modelens afvigelser kan ligeledes skyldes naturlige variationer i primærslammets sammensætning, hvilket modellen ikke tager højde for. De første to peaks i den modellerede gasproduktion viser, at den aktuelle gasproduktion burde have ligget højere end den reelt har været. I netop disse to tilfælde har opholdstiden i rådnetankene været væsentligt under de anbefalede 20 døgn. Det kan sandsynligvis forklare den lavere observerede gasproduktion i de to nævnte tilfælde.

Ud fra ovenstående analyser på Herning og Horsens Centralrenseanlæg er det valgt at benytte Gompertz-modellen som modelværktøj til prædiktion af biogasproduktion på biogasanlæg.

5. Analyse - udvikling og afprøvning optimeringsværktøj

Formålet med arbejdsopgave 2 var udvælgelse af sensorer og demonstration/implementering af sensorer og algoritmer. Med baggrund i, at der ikke i arbejdsopgave 1 (feasibilitystudiet) er identificeret måleudstyr og sensorer der er robuste og simple nok til at løse opgaven, blev fokus ændret til at udvikle og afprøve en model, der kan løse opgaven ud fra eksisterende data. Sideløbende hermed, blev en række simple sensorer testet, med henblik på at afdække muligheden for indirekte bestemmelse af VFA og TAN.

5.1 Simple sensorer til prognoseværktøj

Der er testet simple sensorer i forhold til bestemmelse af vigtige procesparametre som VFA og TAN. De anvendte sensorer har været pH, ledningsevne (LED), redox og TAN. Der er blevet udarbejdet en række modeller med multivariant statistisk regression. Målingerne med sensorer har været anvende-

lige til at udarbejde modeller bortset fra redox. I nedenstående tabel er de fremkomne modeller opsummeret.

Model parameter	Input parameter	Substrat	Model	Antal obs.	Korrelation (R ²)	Bemærkning
VFA	LED, pH, TAN	Kvæg+kylling gødning	$69806 - 10680 \times pH - 1049 \times TAN + 1046 \times LED$	35	0,69	Rimelig model ved høj VFA
VFA	LED, pH, TAN	Kvæggødning og græs	$56521 - 8988 \times pH + 3773 \times TAN + 1046 \times LED$	35	0,34	Svag model, der mangler lave værdier til at forbedre model
VFA	LED, pH, TAN	Alle	$16858 - 2567 \times pH + 2125 \times TAN + 76 \times LED$	250	0,34	Svag model i det lave område, i det høje område rimelig.
VFA	pH og TAN	Kvæg+kylling gødning	$51989 - 7099 \times pH - 2920 \times TAN$	168	0,91	God model ved høj VFA
TAN	LED	Kvæg+kylling gødning	$3,92 \times LED + 10,71$	35	0,98	Meget god og præcis model
TAN	LED	Alle	$0,69 \times \exp(0,062 \times LED)$	250	0,89	God model

Det kan konkluderes at det er muligt med sensorer at beregne TAN med en høj præcision selv med en global model der anvendes på et meget stort antal substrater. I forhold til VFA er det muligt at anvende modeller hvor LED, pH og TAN indgår men modellen har en begrænset værdi ved lave indhold. Dette gælder imidlertid også når der anvendes titrering, som er en meget anvendt metode på anlæggene. Hvis sensorer skal anvendes til VFA vurderes det at være nødvendigt at udføre en kalibrering af modellen til den biomasse der anvendes på det enkelte anlæg eller alternativt udføre et antal modeller til de mest hyppige substrater således at der er et antal modeller at vælge imellem.

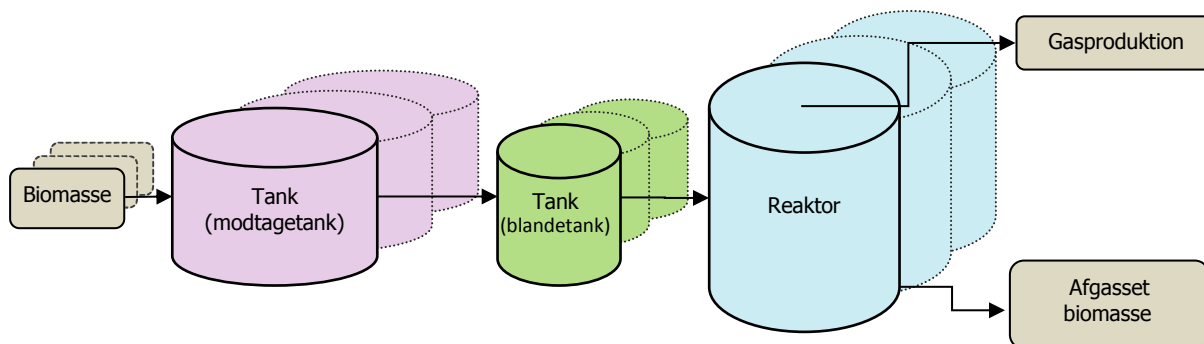
Formlerne er overordnet ikke testet på fuldskala anlæg, da data og behandlingen af dette først var færdig sent i projektet. Det vurderes at det vil være oplagt at implementere modellen for estimering af TAN på baggrund af ledningsevne på anlæg med høj kvælstofbelastning.

TAN-værdien skal sammenkobles med måling af pH og temperatur for at beregne den konkrete ammoniakbelastning da disse parametre rykker forholdet mellem ammonium og ammoniak. Dette forhold er endnu ikke implementeret, hvorfor anvendelse af nuværende model kræver, at anlægget har procesmæssig indsigt i kvælstofhæmning relateret til pH og temperatur. Planen er at implementere den i onlineværktøjet/prognoseværktøjet

Modellen for VFA er testet på fuldskala data fra Maabjerg Energy Center, men en stabil drift hos MBE med meget lave VFA-værdier gjorde det ikke muligt at validere modellen med de tilgængelige data.

5.2 Prognoseværktøj

Ved planlægning og drift af rådnetanke beregnes forventet gasproduktion typisk ud fra batch-forsøgsværdier og/eller COD-målinger for de tilførte biomasser som års- eller månedsværdier. Det udviklede prognoseværktøj arbejder grundlæggende med samme udgangspunkt, men på baggrund af aktuelle målte værdier på anlægget. Biogasproduktionen modelleres med baggrund i de forskellige biomasser der tilføres biogasanlægget, henholdsvis renseanlægget, hvor både biomassens vej igennem systemet frem til reaktoren med forsinkelser og opholdstider, samt sammenblanding af de forskellige biomasser indkalkuleres. Ved at beregne fraktionsopdelingen af biomassen under hele processen, kan modellen give en prognose for gasproduktionen, baseret på fraktionerne individuelle egenskaber og dermed deres specifikke gasudvikling. Beregningen af substraternes gasudviklingen er nærmere beskrevet i afsnit 5.2.1.. En illustration af modelens inddeling af anlægget og beregningsgang, ses på Figur 13.



Figur 13: Beregningsystem - prognoseværktøj.

I modtagesystem og -tanke beregnes relevante parametre for gasproduktionen, for sammenblandingen af de tilførte og de tilstedeværende fraktioner i biomassen.

Det videre forløb af biomassen igennem diverse tanke frem til reaktoren, beregnes med samme fremgangsmetode, som beskrevet for modtagetanken. I tilfælde af, at der forekommer en direkte tilførsel af biomasser i rørsystemet, i stedet for en blandetank, beregnes fraktionerne ved hjælp af en fiktiv blandetank, uden opholdstid. Det vil sige, at beregningsgangen er tilsvarende den i modtagetanken, dog er alle indgående flow tilsvarende de udgående flow, i samme tidsskridt.

Beregningen af gasproduktionen beregnes på det indgående flow af den fraktionsopdelte biomasse. Fraktionernes opholdstid i reaktoren bestemmes på baggrund af det specifikke anlæg og forudsættes indtil videre at være konstant i modelsammenhæng.

Mængden af organisk stof tilført, samt forventet indhold af N, P og K i reaktoren beregnes i modellen. Dermed kan modellen udvikles til både at beregne forventet organisk belastningsgrad, og ammoniakbelastning såfremt pH-værdien og temperaturen i reaktoren er kendt, samt give et estimat på den afgassede biomasses gødningsværdi.

5.2.1 Modellering af gasproduktion

Modelværktøjet, der anvendes til prædiktion af biogasproduktionen, tager udgangspunkt i en Gompertz-model givet ved:

$$P = \sum_{i=1}^n P_{i,max} \cdot \exp\left(-\exp\left(\left(\frac{R_{i,max} \cdot e}{P_{i,max}}\right) \cdot (\lambda - t) + 1\right)\right)$$

hvor

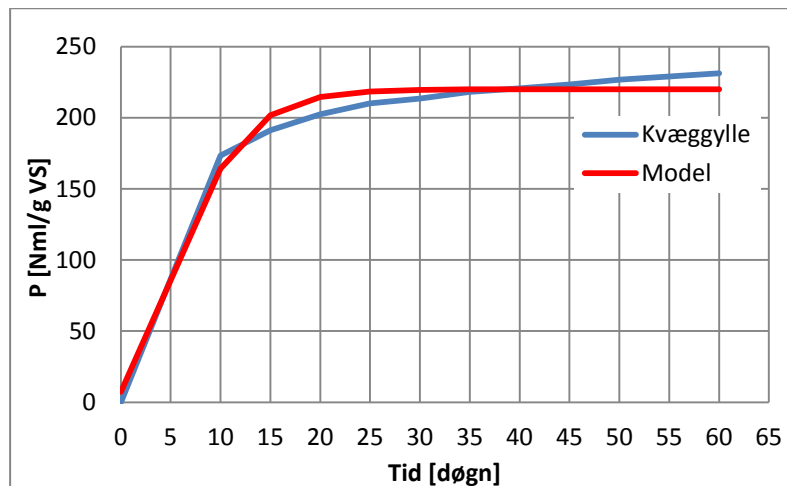
P = Den kumulative gasproduktion [Nm^3]

$P_{i,max}$ = Maksimal gasproduktion fra produkt i til tiden ∞ [Nm^3]

$R_{i,max}$ = Maksimal gasproduktionsrate [$\text{Nm}^3/\text{t VS}/\text{d}$]

λ = lag-fase for produkt i [d]

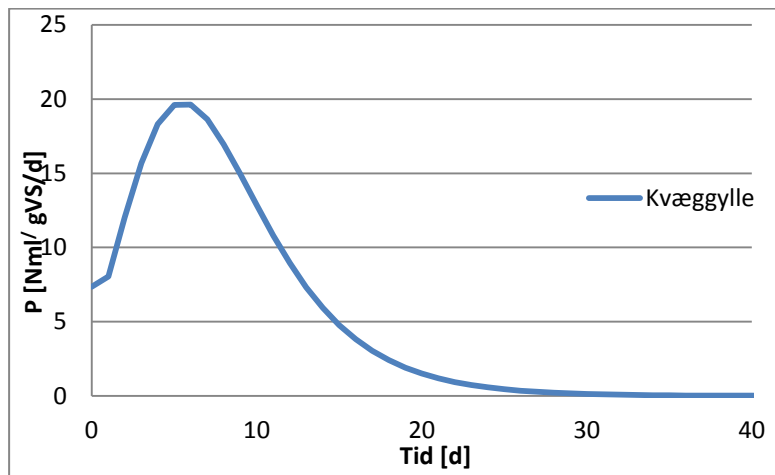
Der er udført flere batch-test med de mest brugte produkter på biogasanlæg i det mesofile drifts-område for måling af gasproduktion over tid, hvilket er eksemplificeret med kvæggylle på Figur 14.



Figur 14: Gompertz-model for kvæggylle - Batch-forsøg.

P_{max} , R_{max} og λ er fundet ved tilpasning ud fra excel solver på baggrund af minimering af RMSE (Root Mean Square Error). I det aktuelle tilfælde er P_{max} , R_{max} og λ fundet til henholdsvis 220 $\text{Nm}^3/\text{g VS}$, 20 $\text{Nm}^3/\text{g VS}/\text{d}$ og 0,9 d. I forhold til forsøgets fittede lag-fase λ på 0,9 d, forventes denne at være betydeligt mindre for biogasanlæg, der er vant til at modtage kvæggylle.

På figur 15 ses biogasproduktionsraten for kvæggylle testet i laboratorieskala.



Figur 15: Biogasproduktionsrate

Den maksimale produktionsrate R_{\max} kan aflæses til ca. 20 Nml/g VS/d. Det ses yderligere, at efter ca. 30 døgn, produceres der ikke længere gas fra kvæggyllen ensbetydende med, at udrådningspotentialet er fuldt udnyttet.

Test i laboratorieskala er batch-test uden kontinuerlig ind- og udpumpning, hvilket i forhold til modellering af fuldskala rådnetanke/biogasanlæg medfører en lille overestimering af gasproduktionen. I fuldskala vil der være et initialtab, da ikke alt biomasse har lige lang opholdstid ved kontinuerlig ind- og udpumpning. I forhold til biogasanlæg, der drives i det termofile område forventes gasproduktionen at komme hurtigere i forhold til gennemførte batchtests. Hvis biogasanlæggets reelle opholdstid er kortere end den modellerede får modellen ikke umiddelbart det allersidste gas med, jævnfør figur 15. Herved underestimerer modellen gasproduktionen i forhold til den reelle gasproduktion ved termofil drift, da alle produkters udrådningspotentiale forventes at være fuldt udnyttet efter 25 døgn. Ofte vurderes disse mindre modelunøjagtigheder stort set at opveje hinanden - men ellers skal de kompenseres ved tilpasning af modellen på det aktuelle anlæg.

5.2.2 Validering af prognoseværktøjet - Case: Ribe Biogas

I forbindelse med at validering af prognoseværktøjet har Herning og Horsens Centralrenseanlæg vist sig være for stabile i driften til formålet. Maabjerg Energy Center er vurderet som for kompleks i anlægsopbygning og biomassegrundlaget på deres grønne linje til valideringen af første udgave af modellen. Derfor blev data fra Ribe Biogas udvalgt til den indledende validering.

Ribe biogas har et samlet reaktorvolumen på ca. 12.500 m³. Anlægget drives i det termofile område (52-55 °C) med en opholdstid på omkring 25 døgn.

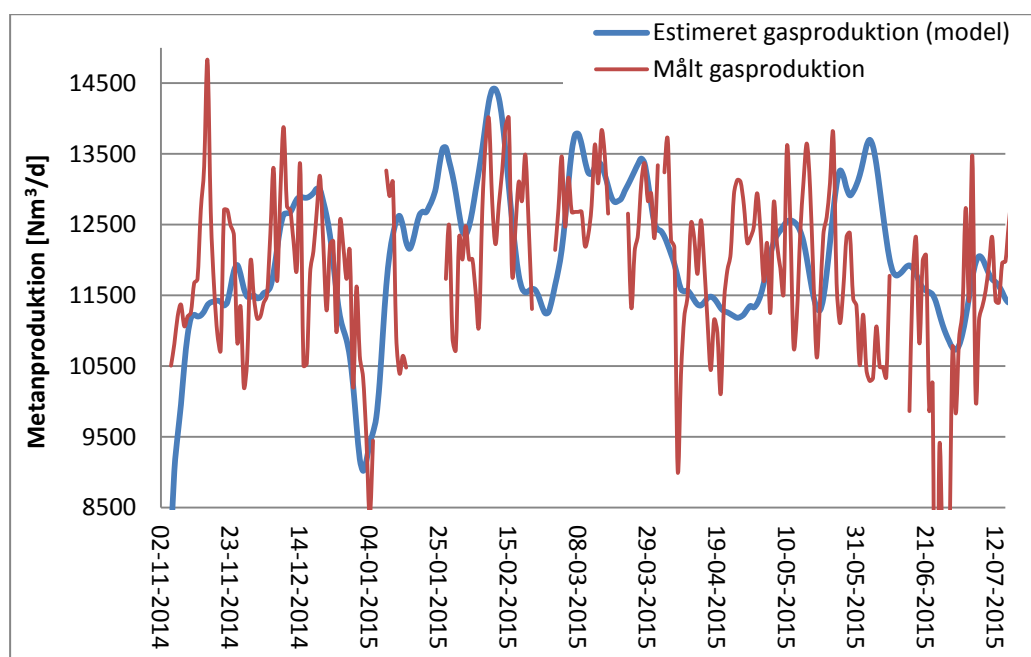
Der er opstillet og kalibreret en Gompertz-model for gasproduktion på Ribe Biogas for perioden november 2014 til og med marts 2016. Indpumpningsmængder og tørstofindhold for de enkelte produkter er registreret på uge basis. VS/TS-indholdet er baseret på erfaringsværdier. Den producerede biogas er registreret på døgnbasis. Det betyder, at den modellerede gasproduktion baseres på en ugemiddel døgnvariation, hvorfor denne får et mere udjævnet dæmpet gasproduktionsforløb i forhold til den aktuelt målte døgnvariation. Inputdata til Gompertz modellen har derved ikke mulighed for at modellere store og hurtige døgnudsving på gasproduktionen. Der er igangsat videre arbejde med at benytte mængderegistreringen på døgn- og timebasis, således større og hurtige fluktuationer i biogasproduktionen kan beregnes.

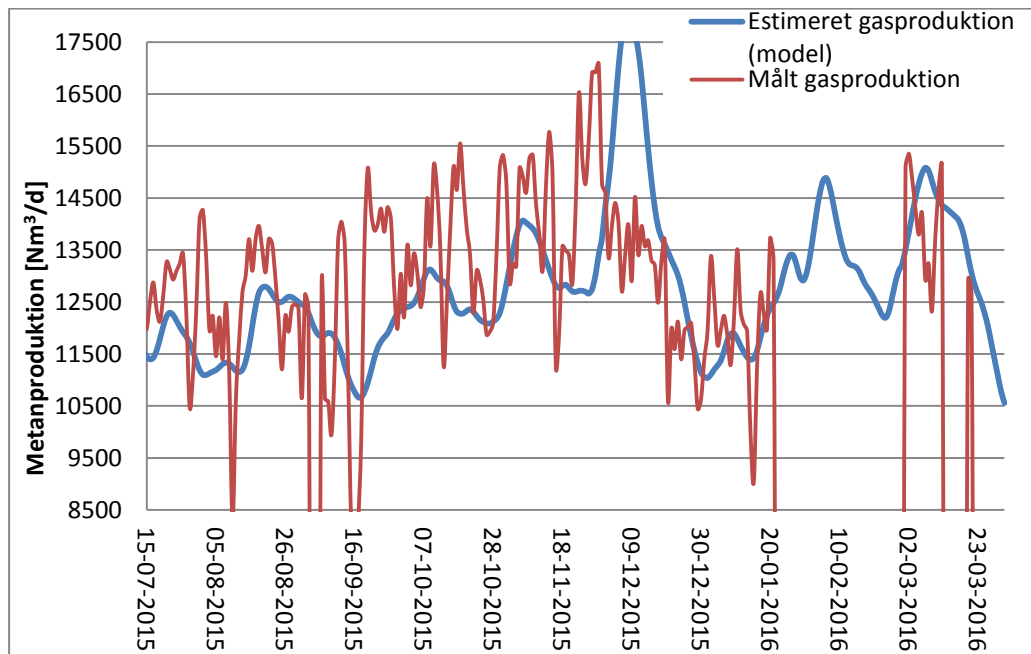
Til forskel fra renseanlæg modtager biogasanlæg en meget varieret diæt opdelt på biomasser fra mange rimeligt veldefinerede kilder. Tabel 1 viser forskellen i de produkter som Ribe Biogas har modtaget i perioden, hvor modellen er testet.

Produkt	TS [%]	VS/TS [%]
Biomasse 1	7,5	80
Biomasse 2	60	90
Biomasse 3	90	90
Biomasse 4	50	90
Biomasse 5	30	90
Biomasse 6	35	90
Biomasse 7	1,5	70
Biomasse 8	20	90
Biomasse 9	14	90
Biomasse 10	22	90
Biomasse 11	5	80
Biomasse 12	10	90
Biomasse 13	29	90
Biomasse 14	16	80
Biomasse 15	18	80
Biomasse 16	8	90
Biomasse 17	40	80
Biomasse 18	30	80
Biomasse 19	25	98
Biomasse 20	18	80
Biomasse 21	13	80
Biomasse 22	8	80
Biomasse 23	80	80

Tabel 1: Ribe Biogas - produktliste.

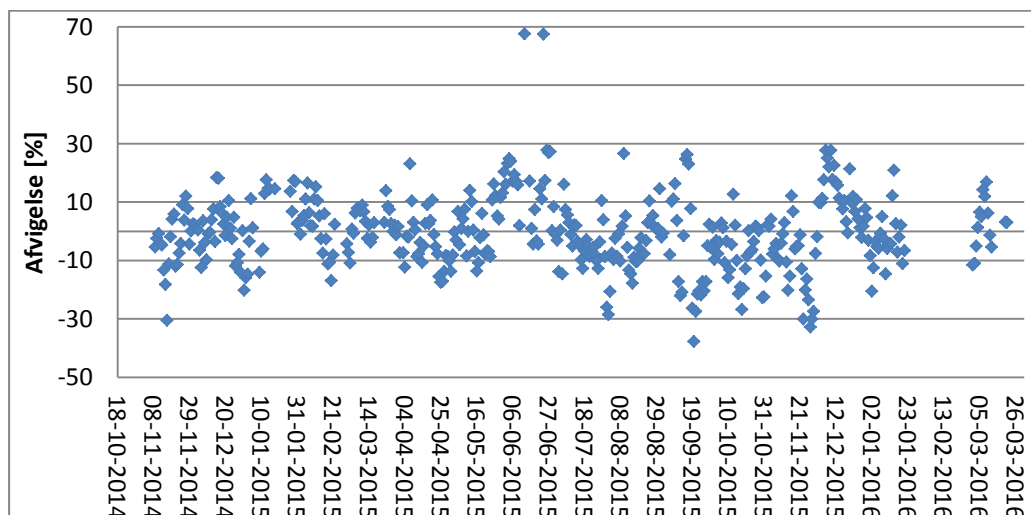
Fordelelsen er mængdemæssig meget uens, og det samme er gaspotentialet fra de forskellige produkter. Størstedelen af den producerede biogas på Ribe Biogasanlæg stammer fra den modtagne kvæg- og svinegylle. På Figur 16 ses den målte og modellerede gasproduktion for Ribe Biogasanlæg.





Figur 16: Ribe Biogas - målt og modelleret gasproduktion.

Af Figur 16 fremgår netop, at modellen på grund af den ugemidlede døgnavariation ikke får mindre kortvarige udsving med. Der er dog en tydelig tendens til at modellen følger gasproduktionsforløbet, hvilket synliggøres ud fra den målte modelafvigelse, jf. Figur 17.



Figur 17: Modelafvigelse.

Den gennemsnitlige modelafvigelse med angivelse af standardafvigelse er på ca. $-0,4 \pm 12,6$. Afvigelsen er dermed balanceret omkring nulpunktet, således modelfejlen generelt hverken er over- eller underestimeret. Ved 60, 75 og 85 procentfraktilen er modelafvigelsen henholdsvis 2, 7 og 11 procent. 95 procentfraktilen er knap 20 %. Det betyder, eksemplificeret ud fra 75 procentfraktilen, at 75 % af modelafvigelserne er ligger under 7 % i forhold til den "sande" værdi.

I forhold til unøjagtigheder på målt gasproduktion og registrerede mængder af produkter samt det faktum, at ugemidlede døgnaværdier er fittet til døgproduktion af gas, vurderes modelafvigelsen at være acceptabel i forhold til at benytte modellen som styringsværktøj til prædiction af gasproduk-

tionen og produktfoderplan. Ved specielt at benytte døgnregistreringer på indpumpede produkter forventes modellen at passe bedre.

5.3 Styringsparametre og styringsforslag

Den primære funktionalitet i prognoseværktøjet beskrevet i afsnit 5.2, er forudsige gasproduktionen og andre driftsparametre, som kan bruges til at styre processen bedst muligt. Driftspersonalet kan udnytte denne prognose i deres styring, så anlæggets afsætning af den producerede gas optimeres, og fremtidige procesnedbrud kan forebygges.

Ved brug af gasprognosen, kan der fremstilles en foderplan for anlægget, som kan optimeres i forhold til, mængden af gas der kan aftages fra anlægget, samt den aktuelle gasværdi. Optimering af foderplanen kan således sikre, at produktionen afstemmes med efterspørgslen og det undgås, at sende gas til gasfakkel ved overproduktion, eller miste potentiel afsætning af gas pga. underproduktion.

For biogasanlæg styres foderplanen som en kombination af biomasser på faste aftaler der kommer løbende til anlægget, og biomasser der kan købes ekstra. Modellen vil kunne anvendes til at optimere tilførsel af den variable del af biomassen.

Renseanlæg håndterer traditionelt næsten udelukkende biomasser uden nogen videre styring på mængder og tider. Det afhænger af de tilsluttede producenter i oplandet. Der er dog ofte en slamdel, der tilføres fra f.eks. mindre renseanlæg med lokal afvanding, og denne del kan tidsmæssigt forskydes og tilpasse rådnetankens kapacitet og gasproduktion. I fremtiden vil renseanlæg i højere grad kunne modtage andre eksterne biomasser, f.eks. kildesorteret organisk dagrenovation hvor det også er muligt i nogen grad at tilpasse tilførslen. For renseanlæg vil der ligge en værdi i at kunne styre belastningen på rådnetanken mere præcist, og samtidigt vil der også komme fokus på at optimere indtjeningen fra gasudnyttelsen.

Udover en optimering af de økonomiske forhold under almindelig drift, kan driftsdata og prognosedata bruges til overvågning af anlæggets belastning. Belastning kan beskrives igennem forskellige parametre, herunder hydraulisk belastning, tørstofbelastningen, ammonium hæmning og organisk belastning. Forudsigelsen af disse procesparametre er nærmere beskrevet i afsnit 5.3.2

Signifikante uoverensstemmelser, mellem målte data og prognose kan være en indikator for driftsforstyrrelser, og kan herved give driftspersonalet mulighed for at justere driften inden et komplet nedbrud opstår. Her kan måling og beregning af parametre i reaktoren såsom VFA, TAN og ammonium, være relevante for at netop at undgå driftsforstyrrelser. Det nødvendige måleudstyr for at online eksempelvis VFA er ikke tilstede på anlæggene i dag, og de kommercielt tilgængelige løsninger er dårligt egnede til praktisk brug omkring rådnetanke. Ydermere er grænseværdierne for parametrene individuelle for anlæggene, og en vis erfaring vil derfor være nødvendig for at kunne anvende disse i den styringsmodel. Tages der udgangspunkt i et anlæg der har online måling af pH-værdi, temperatur og ledningsevne tilgængeligt, vil det være grundlag for at estimere værdier for eksempelvis TAN og VFA, som kan anvendes til et "early warning" system.

5.3.2 Forudsigtelse af procesparametre

Slamopholdstid og tørstofbelastning

Modellen er en relativt simpel massebalancemodel, og kan derfor uden videre anvendes til at beregne anlæggets slamopholdstid (SRT eller hydrauliske belastning) - altså hvor meget volumenstrømmen gennem anlægget er. Denne opgøres som tilførte m^3 biomasse pr. m^3 reaktortvolumen pr. dag, men udtrykkes ofte som hydraulisk opholdstid målt i døgn. Den hydrauliske opholdstid skal være længere end den tid det tager at erstatte de bakterier der forlader anlægget med udpumpet biomasse, for at opretholde processtabilitet.

Tørstofindholdet i de enkelte tilførte biomasser, og mængden af produceret biogas kendes også i modellen, og derfor kan den samlede resulterende tørstofmængde i reaktoren til enhver tid beregnes. Tørstofindholdet har stor betydning for biomassens viskositet, og dermed for det forventede energiforbrug til pumpning og omrøring.

Ammoniak-hæmning

Visse typer af procesinstabilitet eller hæmning er relateret til forekomst af specifikke stoffer som f.eks. NH_3 (ammoniak) og NH_4 (ammonium). Den mængde kvælstof (N) der indgår ændres ikke i processen, hvorfor modellens massebalance-tilgang kan anvendes til at beregne N-indholdet i den biomasse der er i reaktoren på et givent tidspunkt. Det meste af kvælstoffet vil normalt findes som NH_4 , men afhængigt af pH og temperatur vil en større eller mindre del også optræde som NH_3 . Indholdet af total-kvælstof i rådnetanken kan med rimelig sikkerhed beregnes ud fra summen af kvælstof i de tilførte biomasser. Hvis modellen får adgang til målt pH og temperatur fra on-linemåling på anlægget, kan ammoniak-ammonium balancen beregnes, og det forventede niveau i rådnetanken angives. Dette niveau, sammenholdt med rådnetankens normal-niveau, kan anvendes til at forudsige om en given foderplan vil skubbe rådnetanken tættere på hæmning.

Den samme mekanisme vil kunne benyttes overfor andre stoffer der kan bevirke instabilitet eller hæmning.

Organisk belastning

Den del af det tilførte tørstof der kan omsættes til biogas betegnes ofte som organisk tørstof, oTS, men den mest brugte betegnelse er VS afledt af engelsk *Volatile Solid*. Man beregner den organiske belastning som tilført mængde VS pr. m^3 tanvolumen pr. dag. Øges den organiske belastning vil gasproduktionen også øges stort set proportionalt, indtil et punkt, hvor processen bliver overbelastet.

Mange anlæg kører underbelastet, hvor processen opleves som stabil og velfungerende. Der ligger et optimeringspotentiale i at køre sinde rådnetanke tættere på belastningsgrænsen. Endvidere kan det beregnede tørstofindhold sammenholdes med målt tørstof i udpumpningen, og være med til at monitorere processens omsætning.

6. Kommercialisering - omsætning af resultaterne

Anastyr-projektet har vist, at der er et ønske om at kunne opsamle og anvende procesdata for at styrke den daglige anlægsdrift, og at der ikke findes online målesudstyr installeret på anlæggene, der kan klare opgaven. Der er heller ikke fundet kommercielt tilgængeligt udstyr der er tilstrækkeligt robust og kan levere de ønskede resultater. Projektet har videre vist, at en massebalancemodel der tager afsæt i allerede tilgængelige data vil kunne anvendes til at forudsige gasproduktion, og andre procesparametre.

Modellen foreligger i en beta-version, der skal videreudvikles og testes, således at specielt anvendeligheden og opsætningen i forskellige anlægskonfigurationer etableres, og de opnåede resultater valideres på flere forskellige anlæg. Samtidigt med dette skal der udvikles brugerinterface, der let og enkelt kan tilpasses forskellige brugeres behov.

EnviDan planlægger en test på 1-2 yderligere anlæg, og har herefter til hensigt at tilbyde et optimeringsprodukt baseret på Anastyr, sammen med sine øvrige portalprodukter. Test af nuværende beta-model er påbegyndt hos Solrød Biogas. Produktet vil enten blive videreudviklet som et stand-alone værktøj, eller inkorporeret i et af firmaets øvrige løsninger.

EnviDan er i gang med at udvikle en forretningsmodel for denne ydelse i samspil med firmaets øvrige produkter.

Modellen og perspektiverne i anvendelsen har været præsenteret på Biogasforeningens årlige økonomiseminar i december 2015. Udover reaktionerne i forbindelse med selve præsentationen har dette resulteret i en kontakt fra region Midtjylland, der så en mulighed i produktet.

7. Konklusion

I projektets første fase, viste interviews, at der er ønske om værktøj der kan forudsige gasproduktion, men ikke direkte efterspørgsel på onlinemonitering og -styring af anlæggene. Det vurderes, at den manglende efterspørgsel bl.a. skyldes, at udbuddet af kommercielt tilgængelige online løsninger er meget begrænset, hvorfor driftspersonalet ikke er kendte med løsninger der fungerer.

For renseanlæg er der imidlertid et væsentlige driftsøkonomiske incitament til også at sætte fokus på styring og regulering, samt indflydelse af den energipolitiske målsætning om accelereret udfasning af fossile brændsler fået øget fokus på energiproduktionen.

Det viste sig i det videre forløb ikke muligt at identificere målere og sensorer kommercielt tilgængelige i en udformning og kvalitet der kan bruges til opgaven. Det viste sig hurtigt, at sensorer og målere med en tilstrækkelig målenøjagtighed ikke var robuste og prisbillige nok, og at selve det at finde udstyr der kan sample repræsentativt online er svært. Ålborg Universitet arbejdede videre med forskellige simple sensorer, og har påvist, at en kombination af ledningsevne måling og pH kan anvendes til at måle ammonium-indholdet. Det er også forsøgt, at korrelere disse målinger til indholdet af flygtige fede syrere, men med mindre held.

Derfor besluttedes det, i stedet at arbejde ud fra målinger og registreringer, der allerede er til stede. På denne baggrund udarbejdedes en massebalancemodel, der ud fra mængde, sammensætning og indhold i de tilførte biomasser, beregnede i første omgang den forventede gasproduktion fra rådneproduktionen. Denne sammenholdes med den reelt registrerede produktion. Data fra renseanlæg og biogasanlæg blev testet. Der er fundet god overensstemmelse mellem beregnet og realiseret gasproduktion på biogasanlæggene - og også på renseanlæggene. Her gør det forhold sig gældende, at de undersøgte renseanlæg kørte med meget stabil tilførsel af biomasse, hvorfor der ikke var mange holdepunkter for validering af modellens evne til at forudsige ændringer.

Konklusionen er, at en relativt simpel massebalancemodel kan anvendes til at forudsige den forventede gasproduktion fra en veldrevet proces, og at der er en række udviklingspotentialer for at anvende samme modelopbygning til at kigge nærmere på en række andre procesparametre.

Modellen vil dels kunne anvendes til at forudsige produktionen af biogas i forhold til en forventet foderstrategi, men også til tidligere at opdage, når en realiseret produktion i forhold til en given indfødning ikke giver den forventede gasproduktion. Modellen vil dermed også kunne anvendes til at opdage procesubalance eller truende procesnedbrud, og til at planlægge afhjælpning.

Det planlægges en test på 1-2 yderligere anlæg, og har herefter til hensigt at tilbyde et optimeringsprodukt baseret på Anastyr, sammen med sine øvrige portalprodukter. Produktet vil enten blive videreudviklet som et stand-alone værktøj, eller inkorporeret i et af firmaets øvrige løsninger.

EnviDan er i gang med at udvikle en forretningsmodel for denne ydelse i samspil med firmaets øvrige produkter.

8. Perspektivering

Biogas spiller en betydelig rolle i regeringens energistrategi, hvor vedvarende grøn energi gradvist skal afløse den "sorte" energi frem til vi i 2015 er 100 % dækket af vedvarende energi. Naturgassen fra Nordsøen har tidligere fyldt gasnettet og dækket behovet, men indvindingen daler, og behovet for at erstatte naturgassen end anden gas er presserende. Energistyrelsen forudsiger et behov på 83 PJ som biogas i 2050.

Biogasproduktion drives i dag primært ud fra de tilrådighed værende biomasser, hvor biogasproduktionen søges øget op til en grænse, der normalt defineres af aftageranlæggets kapacitet. Mange anlæg er tilsluttet et fjernvarmenet, og afsætning er dermed primært begrænset af varmekonsumet hos de tilsluttede forbrugere. Dette betyder, at der kan være behov for at kunne tilpasse biogasproduktionen til udsving forårsaget både af sæson og vejrlig - og her kan en god prognosemodel hjælpe til at optimere indfødningen og time produktionen rigtigt. Der er en tendens til, at de store biogasanlæg fremover også tilsluttes til naturgasnettet. Også her er der fluktuerende aftag, og dermed en mulig optimeringsopgave i at tilpasse biogasproduktionen til efterspørgslen.

Udover at tilpasse produktionen til efterspørgslen bliver der et behov for at udnytte både de tilgængelige biomasser og rådnetankskapaciteten optimalt. Et værktøj som Anastyr, vil kunne bidrage til begge dele, ved dels at kunne forudsige hvor tæt processen køres på rådnetankenes forskellige procesbegrænsende parametre, dels ved at kunne vise hvornår, den realiserede gas og den forventede produktion begynder at afvige så meget, at det kan indikere instabilitet og processvanskeligheder.

Rådnetanke i Danmark var i mange år stort set udelukkende i brug på renseanlæg til at reducere spildevandets indhold af organiske stoffer. Ved de første energikriser i starten af 1970'erne begyndte man at opføre biogasanlæg til energiproduktion på organiske restmaterialer og landbrugets husdyrgødning. Denne udvikling er fortsat, og rådnetanke på renseanlæg og biogasanlæg indgår nu som en del af regeringens ressourcestrategi, dels for at sikre udnyttelsen af restprodukter fra industri og husholdning, og dels for at producere vedvarende energi

Rådnetanke på de to typer anlæg har været drevet med forskellig instrumentering og fokus, og kun begrænset erfaringsudveksling. Sparring på tværs af fagområderne renseanlæg og biogas har bidraget til en bedre fælles forståelse af, hvorledes styringen foregår på de givne anlæg.

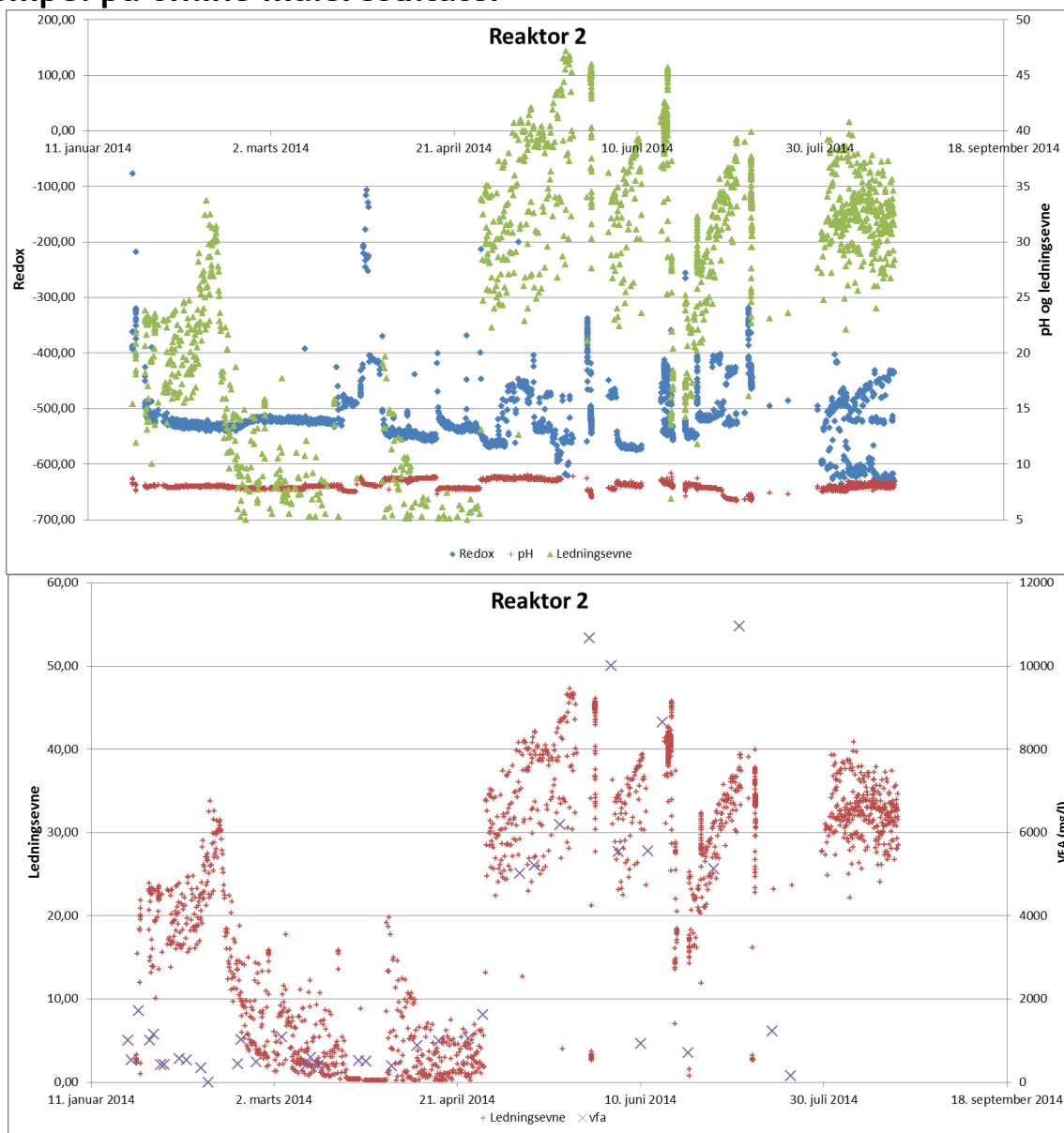
BILAG 1

EnviDan A/S
Projekt nr.: j. nr.
64013-0522
Side 1 af 1

Projektoplysninger

Project title	Optimering af procesovervågning i biogasproduktion - Værktøj til optimering af biogasproduktion
Project identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 64013-0522
Name of the programme which has funded the project	EUDP
Project managing company/institution (name and address)	EnviDan A/S Vejlsøvej 23 DK-8600 Silkeborg Tel.:86 80 63 44
Project partners	Maabjerg Energy Center GasCon Herning Vand Aarhus Universitet
CVR (central business register)	18 33 43 05
Date for submission	01-09-2016

Eksempel på online måleresultater



Figur 1: On-line data fra forsøgsreaktorer suppleret med VFA målinger.

BILAG 3

EnviDan A/S
Projektnr.: j. nr.
64013-0522
Side1 af 19

EnviDan

EUDP

AnaStyr Rapportering af interview på biogasanlæg

juni 2014
(Revision 1)

Udarbejdet til:
EUDP

Udarbejdet af:
EnviDan A/S
Carl Stephansen
E-mail: cst@envidan.dk
Direkte tlf.:
Projekt navn: AnaStyr
Projektnr.: 8143934
Kvalitetssikring:
Side 2 af 19

Indholdsfortegnelse

1.	Indhold og baggrund	4
2.	Formål med interviewene	4
2.1.1	Stamdata	4
2.1.2	Layout	4
2.1.3	Biomassegrundlag og produktion	4
2.1.4	Hæmning etc.	4
2.1.5	Styringsstrategi	5
3.	Udvælgelse af anlæg til interviews	5
4.	Indsamlet datagrundlag	6
4.1	Registrerede parametre	7
4.2	Styringsstrategi og erfaring med hæmning etc.	8
4.2.1	Vegger Biogas	8
4.2.2	Ribe Biogas	8
4.2.3	Thorsø Biogas.....	8
4.2.4	Filskov Energiselskab	9
4.2.5	Snertinge Biogas	9
4.2.6	Blåbjerg Biogas	9
4.2.7	Blåhøj Energiselskab	10
4.2.8	GFE Krogenskær	10
4.2.9	Limfjordens Bioenergi	10
4.2.10	Maabjerg BioEnergy	10
5.	Sammenfatning på indsamlede data	11
5.1	Styringsstrategi	11
5.2	Vurdering af forventet efterspørgselsniveau	13
6.	Anbefalinger vedrørende online-styring.....	13
6.1	Forslag til indhold i online-styringen.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
6.2	Markedstilgang	13
7.	Bilag AnaStyr - Spørgeramme til biogasanlæg	14

Bilagsfortegnelse

Bilag 1	Spørgeramme/skemaer fra interviews
---------	------------------------------------

1. Indhold og baggrund

I denne rapport præsenteres resultaterne af interview foretaget på 10 danske biogasanlæg i forbindelse med EUDP-projektet *AnaStyr*. Interviewene er gennemført i foråret 2014 med henblik på at afdække en række forhold omkring styring af biogasprocessen.

En fuldstændig redegørelse for formål for *AnaStyr* er ikke præsenteret i nærværende rapport, for en sådan beskrivelse henvises til projektets hovedrapport.

2. Formål med interviewene

I udviklingsprojektet *AnaStyr* søges udviklet en styringsalgoritme, der kan anvendes til online styring af en biogasproces på et rensesanlæg eller i et egentligt biogasanlæg. Formålet med dette er at optimere biogasproduktion og dermed udnyttelsen af reaktorvolumenen.

Som en del af projektet er det søgt belyst, hvorledes styringen finder sted i dag, for derved at have en form for base-line i forhold til et fremtidigt styringskoncept. Desuden er den umiddelbare interesse for et sådant styringskoncept blandt de mulige aftagere søgt belyst.

Til afdækning af dette er der hos projektdeltageren GasCon (GC) udarbejdet en spørgeramme og efterfølgende gennemført interviews på 10 danske biogasanlæg.

I det følgende er givet en beskrivelse af de generelle og tekniske parametre, der er søgt belyst gennem den udarbejdede spørgeramme.

2.1.1 Stamdata

Spørgerammen indledes med at fastlægge de grundlæggende stamdata for anlægget, nemlig navn, ejerskab, idriftsætningstidspunkt, samlet behandlings- og reaktorkapacitet samt det primære indtægtsgrundlag.

2.1.2 Layout

Biogasanlæggets layout er beskrevet, herunder:

- Antal og størrelse af tanke (fortanke, blandetanke, reaktortanke, efterlagertanke etc.).
- Procestemperatur, opholdstid, antal udrådningstrin, evt. hygiejniseringsstrin.
- Omrøringsmetode.
- Motor- og kedelanlæg.
- Gas- og lugtrensningemetode.

2.1.3 Biomassegrundlag og produktion

Her er anlægget forespurgt på data vedrørende mængder og typer af biomasser, samt oplysninger om den herved fremkomne gasproduktion. Desuden er der stillet spørgsmål vedrørende biogassens metanprocent og hvorledes den producerede gas er anvendt.

2.1.4 Hæmning etc.

I forhold til muligheden for at afsætte et udviklet online styringsværktøj, er det betydningsfuldt at kende stabiliteten af biogasprocessen på anlægget og dermed af den eksisterende styrings effektivitet.

For at medvirke til afdækning af dette, er der under interviewene spurgt ind til, om der på anlægget har været driftsstop som følge af hæmning af biogasprocessen. Hvis dette er tilfældet, er det

endvidere søgt afklaret, om årsagen til hæmningen er klarlagt og om der efterfølgende er foretaget ændringer i den måde, anlægget er opbygget og/eller styres på.

2.1.5 Styringsstrategi

Under dette punkt er det afdækket, hvorledes de interviewede biogasanlæg styres i dag og hvilke ønsker de måtte have til fremtidige scenarier. I forhold til formålet for projektet er dette punkt det mest omfattende og betydningsfulde, da det er med udgangspunkt i de her indhentede svar, relevansen af et online styringsværktøj især kan vurderes.

For at spore sig yderligere ind på dette, spørges der desuden ind til, om der:

- Er et laboratorium tilknyttet anlægget.
- Optages målinger, som ikke anvendes i styringsøjemed.
- Er parametre, som man gerne ville måle; men som man af forskellige årsager ikke måler i dag.

3. Udvælgelse af anlæg til interviews

Biogasanlæg opdeles traditionelt i gårdanlæg og fællesanlæg. Som navnene indikerer, betjener et gårdanlæg en enkelt - i nogle tilfælde nogle få - gårde, mens et fællesanlæg modtager husdyrgødning fra flere landbrugsbedrifter inden for et lokalområde.

Der er p.t. ca. 60 gårdanlæg og 22 fællesanlæg i Danmark. Gennemsnitsstørrelsen for fællesanlægene betragtes ud fra den behandlede årlige mængde biomasse, er langt større end for gårdanlæggenes vedkommende; men de største gårdanlæg nærmere sig dog de mindste fællesanlæg.

I dette udviklingsprojekt har fokus været rettet mod fællesanlæggene, idet det vurderes, at de qua deres størrelse kombineret med det forhold, at de pågældende virksomheder drives udelukkende med biogasproduktion for øje, umiddelbart vil have en større interesse i et produkt, som det, der udvikles, end gårdanlæggene.

For at få et repræsentativt billede af forholdene er der sigtet mod at gennemføre interview på ca. halvdelen af landets fællesanlæg. Ved udvælgelsen af de anlæg, der blev forespurgt om deres interesse i at medvirke, blev følgende forhold inddraget:

- Spredning i behandlingskapacitet (både mindre og større fællesanlæg).
- Variationer i biomassesammensætningen (husdyrgødningstyper, andel og type af biprodukter).
- Medvirken af anlæg drevet ved forskellige procestemperaturer.
- Minimering af kørsel i forbindelse med interviewene.

Med udgangspunkt i disse kriterier og anlæggenes interesse i at deltage, er der gennemført interview på følgende 9 biogas(fælles)anlæg:

- Blåbjerg Biogas A.m.b.a.
- Blåhøj Energiselskab A.m.b.a.
- Filskov Energiselskab A.m.b.a.
- GFE Krogenskær P/S
- Limjordens Bioenergi ApS (tidligere Morsø Bioenergi)
- Maabjerg BioEnergy A/S
- Snertinge Biogas (Snertinge, Særslev, Føllenslev, Energiselskab A.m.b.a.)
- Thorsø Biogas (Thorsø Miljø og Biogas A.m.b.a.)
- Vegger Biogas (Energi Vegger A.m.b.a.)

Anlæggenes stamdata fremgår af Tabel 3-1, hvori anlæggene er indsat i rækkefølge efter etableringsår.

Stamdata for de interviewede biogasanlæg					
Anlæg	Idriftsat	Kapacitet	Reaktor-kapacitet	Proces-temperatur	Primært indtægtsgrundlag
	År	ton/år	m ³	°C	
Vegger Biogas	1986	82.125	6.000	52 - 53	El- og varmesalg
Thorsø Biogas	1994	170.000	10.660	52	El- og varmesalg
Filskov Energiselskab	1995	80.000	3.800	52 og 35	El- og varmesalg
Snertinge Biogas	1996	45.000	2.550	52	El- og varmesalg
Blåbjerg Biogas	1996	180.000	15.000	52	Gassalg til KV
Blåhøj Energiselskab	1997	42.000	2.800	52	El- og varmesalg
GFE Krogenskær	2004	50.000	3.400	52 og 32	El- og varmesalg
Limfjordens Bioenergi	2009	150.000	7.500	45 - 46	El- og varmesalg
Maabjerg BioEnergy	2012	800.000	45.000	40	Gassalg til KV

Tabel 3-1: Stamdata for de interviewede biogasanlæg.

Til tabellen kan knyttes følgende bemærkninger:

- Anlæggene fordeler sig med:
 - Et - efter danske forhold - meget stort anlæg (Maabjerg).
 - 3 store anlæg med behandlingskapacitet mellem 100.000 og 200.000 ton/år (Thorsø, Blåbjerg og Limfjordens).
 - 5 mindre anlæg med behandlingskapacitet under 100.000 ton/år (Vegger, Snertinge, Filskov, Blåhøj og Krogenskær).
- En del af de tidligt etablerede anlæg er udvidet i forhold til den oprindelige behandlingskapacitet. Det gælder for Vegger, Thorsø og Blåbjerg.
- I Filskov og på GFE Krogenskær foretages udrådningen i seriedrift med forskellige proces-temperaturer i hvert trin.

4. Indsamlet datagrundlag

Kontaktskabelsen til de anlæg, der har deltaget i undersøgelsen, er sket ved telefonisk henvendelse, hvorunder der er blevet forespurgt på deres villighed til at medvirke. Alle, der er forespurgt, har været positiv i forhold til at deltage, og der er derefter blevet aftalt et tidspunkt for et møde, hvor en medarbejder fra GasCon har besøgt det pågældende anlæg og gennemført interviewet.

I det følgende præsenteres et udpluk af de indsamlede data. De skemaer, der er anvendt under interviewene, er indsat som bilag 1 til rapporten. En tolkning og sammenfatning af datagrundlaget er udført i afsnit 5.

4.1 Registrerede parametre

I forbindelse med interviewene er anlæggene forespurgt, hvilke parametre, der måles på. I Tabel 4-1 ses besvarelsen fra de 10 anlæg, hvor der for hver parameter er sat et "J", hvis værdien måles hhv. et "N", hvis den ikke gør.

Målinger, der foretages på de interviewede biogasanlæg									
Anlæg	Vegger	Thorsø	Snertinge	Filskov	Blåhøj	Blåbjerg	Krogens- kær	Limfjor- dens	Maabjerg
Online-målinger									
Reaktortemperatur	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Biomasse, flow ind (reaktor)	J	J	J	J	J	J	J	J	J
TS i flow ind	N	J	N	N	N	J	N	J	N
Biomasse flow ud (reaktor)	N	J	N	N	J	J	N	J	J
TS i flow ud	N	J	N	N	N	J	N	J	N
Tryk i reaktor	J	J	J	N	J	J	J	J	J
Niveau i reaktor	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Gasproduktion	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Metanprocent	J	J	N	J	N	J	N	J	J
Svovlbrinteindhold	J	J	J	J	J	J	J	J	J
CO ₂ -indhold i biogassen			J						
Offline-målinger/beregninger									
VFA	J	N	J	N	J	J	J	J	J
Ledningsevne	N	N		N	N	N	N	N	J
Alkalinitet	N	N		N	N	J	N	J	J
Organisk belastning	N	N		J	N	N		N	J
Hydraulisk belastning	J				N	J	N	N	J
Kvælstofbelastning	N	J		J	J	N	J	J	J
pH			J						

Tabel 4-1: Målinger, der foretages på de interviewede biogasanlæg.

Det ses, at alle anlæg måler reaktortemperatur, indgående flow, væskeniveau samt gasproduktion og svovlbrinteindhold. 8 hhv. 9 af de 10 anlæg måler tillige metanprocenten i gassen og trykket i reaktoren. Metanprocenten måles i de fleste tilfælde direkte, i Snertinges tilfælde dog som indirekte måling ved registrering af CO₂-indholdet.

Anvendelsen af offline målingerne, der som ofte involverer udtagning af prøver til laboratorieanalyse, er mere varieret. På de fleste anlæg udføres dog regelmæssige målinger til fastlæggelse af VFA-niveau og kvælstofbelastning. Begge disse parametre er betydningsfulde i forhold til at få en status over reaktorprocessens aktuelle sundhedstilstand.

4.2 Styringsstrategi og erfaring med hæmning etc.

Der er under interviewene spurgt ind til, hvorledes styringen af processen finder sted og om man har oplevet driftsstop som følge af hæmning, skumning eller andre utilsigtede hændelser. Efterfølgende er besvarelsen for hvert af de 10 anlæg opsummeret.

4.2.1 Vegger Biogas

Vegger Biogas er det ældste af de deltagne anlæg, og var i sin oprindelige udformning også det mindste. Anlægget fremstår dog i dag i en udbygget udgave, hvorved den oprindelige behandlingskapacitet er næste 3-doblet.

Anlægget drives ved termofil procestemperatur og er i stabil drift, idet der ikke har været hæmning, skumning eller andet de seneste 10 år. Før den tid var der ofte skumning, årsagen er ikke klarlagt.

Som for de øvrige anlægs vedkommende sker den daglige styringen af anlægget ved hjælp af et SRO-anlæg, der også giver mulighed for alarmering i tilfælde af, at nogle kritiske grænser for udvalgte procesparametre over- eller underskrides.

Der er forskellige biomasser i hver sin tank, der doceres efter behov. I styringen indstilles tid og flow, og de indstillede værdiers størrelse bestemmes i stor udstrækning i henhold til driftslederens erfaringer.

Man anvender ikke eksternt laboratorium til VFA-bestemmelse, alle målinger udføres i eget regi. Man har ikke på anlægget identificeret nogen særlige ønsker eller forbedringspotentialer i forhold til den fremtidige styringsstrategi.

4.2.2 Ribe Biogas

Ribe Biogas har netop gennemgået en større udvidelse, hvorunder der blandt andet er etableret en ny 8.000 m³ reaktor som supplement til de 3 oprindelige á 1.600 m³. Anlægget drives termofilt.

Anlægget har et ønske om, at kunne tilpasse gasproduktionen i relation til efterspørgslen ved forbrugeren i højere grad end de kan i dag.

På anlægget behandles en række forskellige biomasser, og man er generel villig til at inkludere nye biomassetyper af forskellige art.

4.2.3 Thorsø Biogas

Thorsø Biogas har ligesom Ribe Biogas gennemgået en udvidelse, hvorunder behandlingskapaciteten er forøget. Der er desuden etableret et hammermølleanlæg til forbehandling af dybstrøelse.

Man har ikke oplevet driftsstop som følge af hæmning etc. Efter ombygningen opstod der skumning i hygiejniseringsstrinnet, hvilket blev elimineret ved at ændre procesforløbet fra forhygiejniserings til efterhygiejniserings.

Man anvender et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab. Øvrige prøver udføres i eget regi.

I forhold til ønsker til niveau- og omfang af målinger, vil man gerne kunne registrere flow og gasproduktion på reaktorniveau fremfor som nu på anlægsniveau.

4.2.4 Filskov Energiselskab

Anlægget drives i seriedrift med først termofil og derefter mesofil procestemperatur. Driften er stabil, og der har ikke været hæmning, skumning eller andet.

Anlægget behandler udelukkende kvæggylle og biprodukter fra kendte leverandører.

Man anvender et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab. Man vil gerne kunne udføre disse målinger i eget regi.

Som det eneste anlæg udføres der ikke her regelmæssig VFA-bestemmelse. Årsagen til, de ikke måles, er uklar, men man angiver, at man gerne ville kende niveauet.

4.2.5 Snertinge Biogas

Snertinge Biogas er bygget efter samme koncept som 2 af de efterfølgende, nemlig Filskov og Blåhøj.

Opblanding mellem gylle og biprodukter sker direkte i reaktorerne, hvor materialer pumpes koldt ind. Opvarmningen sker ligeledes i reaktorerne, idet der sker recirkulering af en del af indholdet over varmevekslere.

Man har tidligere oplevet hæmning og skumning, hvilket hver gang har kunnet tilskrives overbelastning af reaktorerne grundet den indpumpede biomasses sammensætning. Lignende fremtidige hæmning søges undgået ved i så stor udstrækning som muligt alene at anvende biomasser med kendt sammensætning og fra kendte leverandører, samt ved stabil og regelmæssig fodring.

Man anvender et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab.

På anlægget er et ønske om at kunne afregne gylleleverandørerne i henhold til TS i den leverede biomasse; men det vurderes at være for dyrt at indarbejde et sådant måle- og afregningssystem.

4.2.6 Blåbjerg Biogas

Blåbjerg Biogas har som flere af de øvrige gennemgået en udvidelse i forhold til det oprindelige anlægslayout. Der er således blandt andet etableret en ny 10.000 m³ reaktor, hvorved reaktorkapaciteten er 3-doblet.

Anlægget er i stabil drift i det termofile temperaturområde. Der har for flere år siden været tendens til skumning; men det ses ikke længere og årsagen til de tidligere problemer er ikke kendt.

Der er anlagt en relativ konservativ strategi i forhold til fodring af reaktorerne, idet der udelukkende anvendes kendte produkter. Gylle og biprodukter opbevares i separate fortanke og opblandes i blandetanke inden indpumpningen til reaktorerne. Blandingsforhold og fordringsrate baserer sig på driftspersonalets erfaringer.

Anlægget udfører selv alle målinger og analyser, herunder VFA-bestemmelse ca. hver 14. dag. Man har ikke ønsker til optagelse af måleværdier, der ikke allerede registreres, eller til ændringer i styringsprogrammet.

4.2.7 Blåhøj Energiselskab

Biogasanlægget i Blåhøj er det mindste af de interviewede. Reaktorkapacitet var ved idriftsættelsen i 1997 på 2 x 650 m³, hvilket dog senere er udvidet med en reaktor på 1.500 m³, således der nu er 2.800 m³ til rådighed.

Der er tidligere indtruffet driftsstop og procesnedbrud på grund af overfodring; nu modtages kun kendte og ensartede biomasser, hvilket har sikret en problemfri reaktordrift de seneste år.

Opblanding mellem gylle og biprodukter sker direkte i reaktorerne, hvori biprodukterne indpumpes fra en separat fortank. Indpumpningsraten baserer sig på driftslederens erfaringer.

Man anvender et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab. Man vil gerne kunne lave TS-målinger af biomasserne; men har derudover ikke specielle ønsker til ændring/forbedring af målings- og styringsstrategien.

4.2.8 GFE Krogenskær

Biogasanlægget har 2 reaktorer på hver 1.700 m³, der drives serielt ved termofil hhv. mesofil temperatur. Der har tidligere været procesnedbrud på grund af fodringsstrategien, og som følge heraf måler man nu VFA-niveauet dagligt og anvender denne registrering til at docere biprodukttilsætningen.

Hovedparten af industriaffaldet opblandes med husdyrgødning i en blandetank, inden det indpumpes i reaktoren. Der er dog også mulighed for direkte tilsætning af glycerin etc.

Der anvendes et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab. Måling af VFA-niveauet foretages af anlæggets eget personale.

4.2.9 Limfjordens Bioenergi

Som det eneste af de interviewede anlæg, er der på Limfjordens Bioenergi kun én reaktor, som er på 7.500 m³. Der anvendes dog et anlægslayout med to efterlagertanken, hvoraf den ene er "varm" og dermed optimeret til efterudrådning.

Procestemperaturen på anlægget er atypisk i forhold til de øvrige, der er besøgt, idet den hverken ligger i det gængse mesofile eller termofile interval. Årsagen er, at man på anlægget løbende justerer temperatursetpunktet med henblik på at finde det niveau, hvor der under hensyn til de aktuelle procesbetingelser opnås bedst mulig gasproduktion.

Alle biomasser opblandes i for- og blandetanke, inden de indpumpes. Doseringen sker i henhold til de enkelte produkters tørstofindhold. Anlægget har været i stabil drift siden ibrugtagningen i 2009, og der har således aldrig været driftsstop.

Der anvendes også her et eksternt laboratorium til gennemførelse af de analyser, der skal udføres i tilknytning til leverandørernes gødningsregnskab; mens alle øvrige målinger foretages af anlæggets eget personale.

Man har ikke på anlægget ønsker til ændringer/forbedringer i måle- og styringsstrategien.

4.2.10 Maabjerg BioEnergy

Maabjerg BioEnergy er det nyeste af de interviewede anlæg. Det er samtidig med sin behandlingskapacitet på 800.000 ton/år og reaktorkapacitet på 45.000 m³, Danmarks p.t. største biogasanlæg.

Anlægget drives ved mesofil temperaturniveau, og der anvendes en seriel reaktorkobling, hvorunder 4 reaktorer fungerer som 1. trin og 1 reaktor fungerer som 2. trin. Den 6. reaktor betjener en separat industri-linje.

Man planlægger indkøring af biomasser således, at maksimalt 25 % af den gylle, der indpumpes i reaktorerne, er minkgylle. Herved har det vist sig muligt at undgå hæmning af NH_3 . På anlægget er en separat tank til biomasser med høj gaspotentiale, eksempelvis glycerin, og de er i nogen udstrækning muligt at regulere gasproduktionens størrelse ved at ændre indpumpningsmængden fra denne tank.

Man har desuden erfaring med, at det i en vis udstrækning er mulig at reducere flydelag gennem indpumpning af biomasser med højt gaspotentiale, idet den øgede gasproduktion medvirker til at sikre opblanding.

Maabjerg Bioenergi har eget laboratorium med laboratorieuddannet personale tilknyttet, og alle målinger, der vedrører anlæggets drift og afregning, foretages derfor i eget regi. Der udføres analyse til fastlæggelse af TS-indholdet i hvert enkelt læs rågylle, der tilføres anlægget. Denne værdi anvendes i forbindelse med afregning af leverandørerne. Der er stort fokus på at de indfødte biomasser indfødtes, således at det eksempelvis ikke opstår hæmning af NH_3 .

Udover ovenstående parametre er der desuden fokus på at udrådningen sker ved optimal temperatur.

Målinger til brug for gødningsregnskaber foretages på eksternt laboratorium, dette er ligeledes tilfældet med analyser anvendt i forbindelse med egenkontrol og visse prøver i tilknytning til analyse af potentielle nye biomasser.

5. Sammenfatning på indsamlede data

Formålet med de gennemførte interviews har været at få et overblik over, hvorledes udrådning-processen på de danske biogasanlæg i dag finder sted, og hvilke styringsparametre, der tages i anvendelse i den forbindelse.

Ud fra det indsamlede datagrundlag søges der efterfølgende givet svar og vurderinger med hensyn til spørgsmålene:

1. Hvilke styringsparametre anvendes i dag, og hvad kan med fordel udvikles fremadrettet?
2. Hvad skal et styringsværktøj kunne tilbyde for at være værdiskabende for biogasanlæggene?

Førstnævnte besluttes dels ud fra tilgængeligheden af eksisterende sensorer, der vil kunne indgå i en online styring, dels i resultaterne af de sonderinger omkring mulige fremtidige sensorer, der gennemføres i AnaStyr i øvrigt.

I de efterfølgende afsnit er ovennævnte spørgsmål vurderet med udgangspunkt i tilbagemeldingerne fra de gennemførte interviews.

5.1 Styringsstrategi

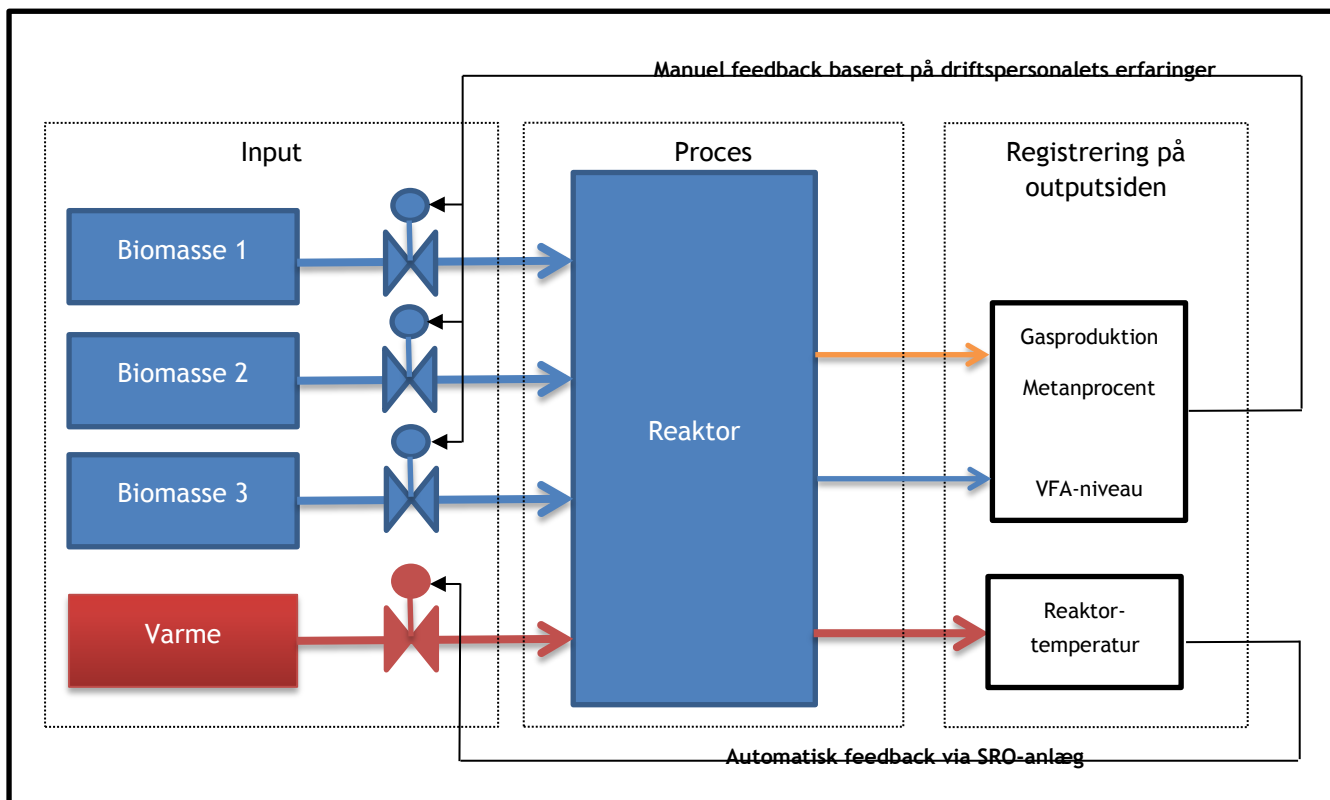
Ud fra de gennemførte interview kan sammenfattes nogle tendenser omkring den nuværende styringsstrategi.

- Man måler temperaturen i reaktoren og styrer denne med henblik på at opretholde en fast temperatur. Dette styres sædvanligvis automatisk via anlæggets SRO-system.
- Man regulerer biomassesammensætning og doseringsrate med henblik på at opnå optimale/stabile procesbetingelser i reaktorerne. Dette sker sædvanligvis ved manuelt indstilling

af tidsprogrammerne for indpumpnings-sekvenser af de forskellige biomasser, der tilføres reaktorerne.

- Setpunkter for reaktortemperatur, biomassesammensætning og doseringsrate bestemmes ud fra driftspersonalets erfaringer.
- Processens "sundhedstilstand" vurderes ud fra online måling af gasproduktion og metanprocent samt ved periodevis måling af VFA-niveau.

Meget forenklet kan det fremherskende styringskoncept skitseres som vist i Figur 1.



Figur 1: Forenklet skitsering af det aktuelt fremherskende styringskoncept på danske biogasanlæg.

Som det fremgår af afsnit 4.2 er der specielt omkring biomassesammensætningen forskellige "religioner":

- Nogle anlæg foretrækker at anvende relativt kendte og ensartede biomasser, da man har erfaring med, at der herved opnås en stabil og jævn produktion.
- Andre udviser en større grad af villige til at anvende uprøvede produkter, hvorved der er potential for at opnås en væsentlig højere gasproduktion; men prisen herfor er en større risiko for, at processen hæmmes med deraf følgende reduceret produktion - eller i værste faldt driftsstop - i en kortere eller længerevarende periode. På nogle anlæg søges denne risiko imødegået ved dels indledende analyser af biomasserne inden tilførsel og dels gennem regelmæssig - typisk ugevis - kontrol af VFA- og ammoniumniveau i reaktortanken.

Det er kun sjældent, man på anlæggene søger at optimere produktionen ved at regulere på reaktortemperaturen; det fleste har den overbevisning, at temperaturen skal holdes så konstant som muligt.

5.2 Vurdering af forventet efterspørgselsniveau

Baseret på interviewene fremstår tydeligt, at der ikke blandt de nuværende driftsledere er nogen forventninger om, at der kan opnås værdiskabelse ved implementering af et online styringsværktøj.

Årsagen til dette ligger lige for: På alle anlæg har man den opfattelse - baseret på hændelser i branchen -, at reaktorprocessen er yderst sårbar over for selv små variationer i biomassesammensætning, temperatur og andre procesparametre. Man læner sig derfor i udstrakt grad op ad egne erfaringer, og man "vil have hånd i hanke" med, hvad der sker i processen.

At overlade styringen af anlæggets procesparametre til et autonomt program, ligger derfor ikke i tråd driftsledernes ønsker. Derimod er der udtrykt ønske om, at få formidlet målinger og resultater vedrørende processen væsentligste parametre i en form, der gør det enkelt og overskueligt for driftslederne at tilrettelægge anlæggets styring.

Det er rimeligt klart, at et værktøj, der lægger styringen ud på en fjernplaceret computer, der via fjernaflæste målinger fremsender proces-setpunkter til anlægget, ikke efterspørges.

6. Anbefalinger vedrørende online-styring

På baggrund af de gennemførte interviews på danske biogasanlæg, er der udtaget nogle anbefalinger med hensyn til, hvilke parametre, der kan/bør indgå i en online styring som den, der søges udviklet. Desuden er gjort nogle overvejelser vedrørende markedstilgangen.

Disse anbefalinger anvendes fremadrettet i AnaStyr, hvor de i kombination med resultaterne fra projektets øvrige delaktiviteter (interviews på renseanlæg, skanning af sensormarkedet, pilottest af sensorer etc.) udgør det samlede beslutningsgrundlaget for det endelige design af den algoritme og det værktøj til online styring af rådnetanksprocessen, der udvikles.

6.1 Markedstilgang

En mulig måde at tilgå dette markedssegment kan være gennem implementering af et styringssystem, der på baggrund af online målinger udarbejder anbefalinger til styringsstrategien med tilhørende produktionsprognoser, som driftspersonalet derefter kan vælge at følge.

Formålet med denne tilgang er, at det derved vil være muligt at demonstrere potentialet for øget gasproduktion ved anvendelsen af en online-styring i en sådan takt, at anlæggets driftspersonale - lidt efter lidt - kan opnå tryghed og tillid til systemet i en sådan grad, at de på sigt vil finde det forsvarligt at overlade styringen til det udviklede værktøj.

Det må desuden anbefales at udbyde værktøjet i en modulopbygget model, hvor det enkelte anlæg kan vælge den konfiguration, man finder harmonerer med de aktuelle behov. Differentieringen mellem modulerne kan relatere sig til:

- Antal og art af styringsparametre. Kan bestå af en enkelt eller nogle få simple sensorer, der f.eks. måler temperatur og gasproduktion, til et system, hvor alle betydende parametre er overvåget og styret ved løbende registreringer, hjemtagning, bearbejdning og returnering af setpunkter til anlægget.
- Graden af automation, gående fra et værktøj, der giver anbefalede værdier til et, der varetager hele styringen via en eksternt placeret server.
- Salgsmodel - løbende abonnement og/eller produktsalg.

7. Bilag AnaStyr - Spørgeramme til biogasanlæg

Stamdata		
Navn		
Ejer + kontaktperson		
Idriftsat	År	
Samlet behandlingskapacitet	ton/år	
Samlet reaktorkapacitet	m ³	
Primære indtægtsgrundlag		
Layout		
Tankkapacitet		
Fortanke, antal og volumen	-/m ³	
Reaktorer, antal og volumen	-/m ³	
Efterlager, antal og volumen	-/m ³	
Omrøringsmetode		
Motor- og kedelanlæg		
Gasrensning		
Reaktortemperatur Sommer / Vinter Overtemperatur indpumpning		

--	--	--

Biomassegrundlag og produktion

Biomasseleverance	ton/år	
Heraf gylle	% eller ton	
Hvorledes fordeler leverancen sig over året		
Foderplan sidste år Foderplan månedsvist		
Gasproduktion	Nm ³ /år Bio Nm ³ /år CH ₄ Månedsvist	
Heraf anvendt internt	% eller Nm ³	
Metanprocent	%	
Anvendelse af den producerede biogas		

Erfaringer omkring hævning etc.

Har der været driftsstop som følge af hævning eller lignende	
Er årsagen til hævningen klarlagt	
Er der efterfølgende foretaget ændringer i anlægslayout og/eller styringsstrategi	

Andre erfaringer omkring anlægget	
-----------------------------------	--

Styring af biogasanlægget etc.

Hvordan sker styringen - beskriv i tekst.

Afdæk blandt andet:

- Sker opblandingen af de forskellige biomasser i en blandetank eller indføres der direkte fra forskellige oplag.
- Hvordan styres forholdet mellem indfødsningen af forskellige biomasser - er det baseret på driftslederens erfaringer eller er der indarbejdet en form for automatik.

--

Styring af biogasanlægget etc. - fortsat

Angiv, hvilke af efterfølgende parametre, der måles/beregnes samt hyppighed og anvendelse

	Måles	styrrings- input	Løbende / lejlighedsvis måling	Samlet / pr. reaktor		Hvor er sensorer placeret
	J/N	J/N	Lø/Le	S/R		
Reaktortemperatur						
Biomasse, flow ind (re- aktor)						
TS i flow ind						
Biomasse flow ud (re- aktor)						
TS i flow ud						
Tryk i reaktor						
Niveau i reaktor						
Gasproduktion						
Metanprocent						
Svovlbrinteindhold						
VFA						
Ledningsevne						
Alkalinitet						
Organisk belastning						
Hydraulisk belastning						
Kvælstofbelastning						

Styring af biogasanlægget etc. - fortsat	
Er der et laboratorium tilknyttet, som analyserer på biomassen og/eller processen	
Hvis nej, er det under overvejelse	
Hvis ja, hvad er udbyttet af dette	
Optages der målinger, som ikke anvendes til styring?	
Hvis ja, hvilke og til hvilket formål	
Er der parametre, som ønskes målt og som ikke bliver det i dag	
Hvis ja, hvilke og til hvilket formål	
Hvis ja, hvorfor måles de ikke i dag (f.eks. sensor ikke tilgængelig eller for dyr)	

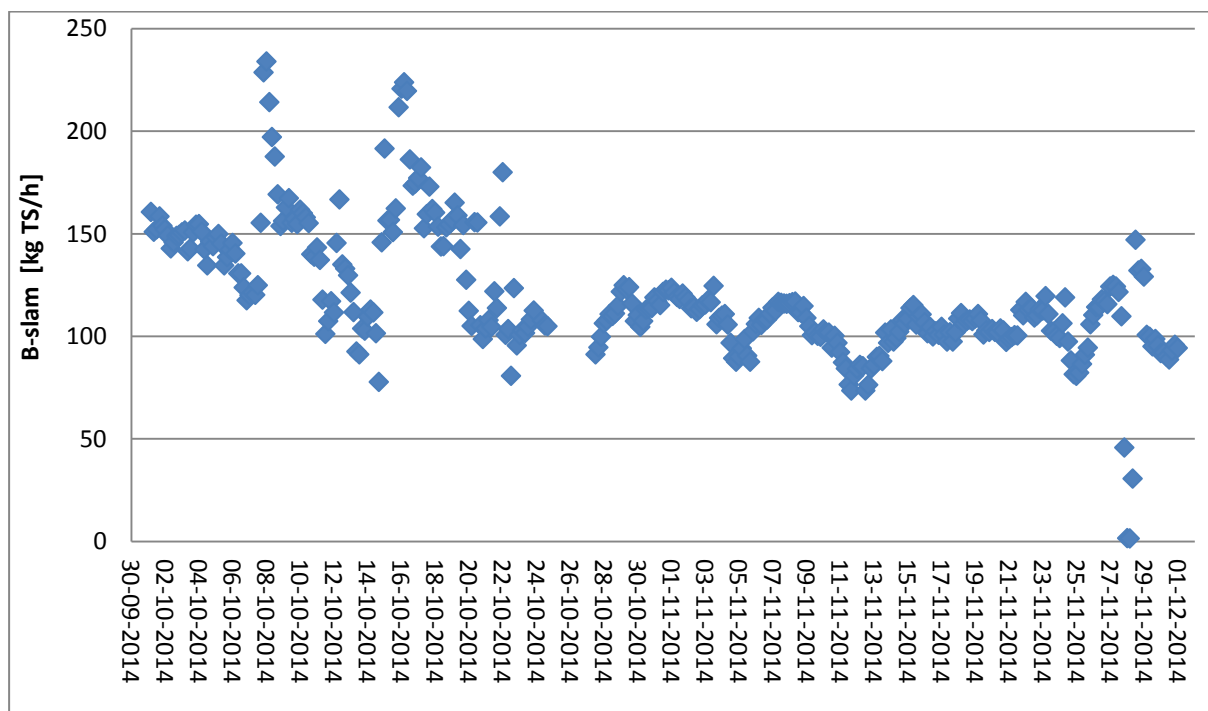
BILAG 4

EnviDan A/S
Projekt nr.: j. nr.
64013-0522
Side 1 af 8

Data for Herning Centralrenseanlæg

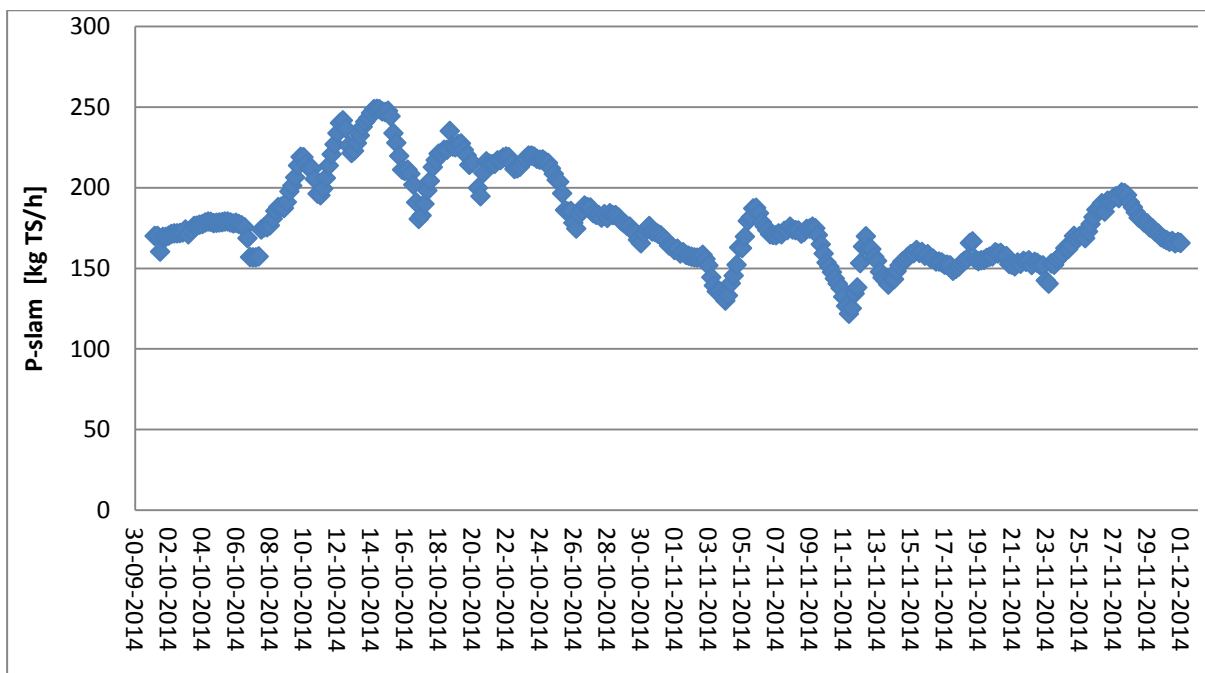
Der er modtaget data for rådnetankene i perioden 01.10-2014 - 01.12-2014

Biologisk overskudsslam tilført rådnetankene

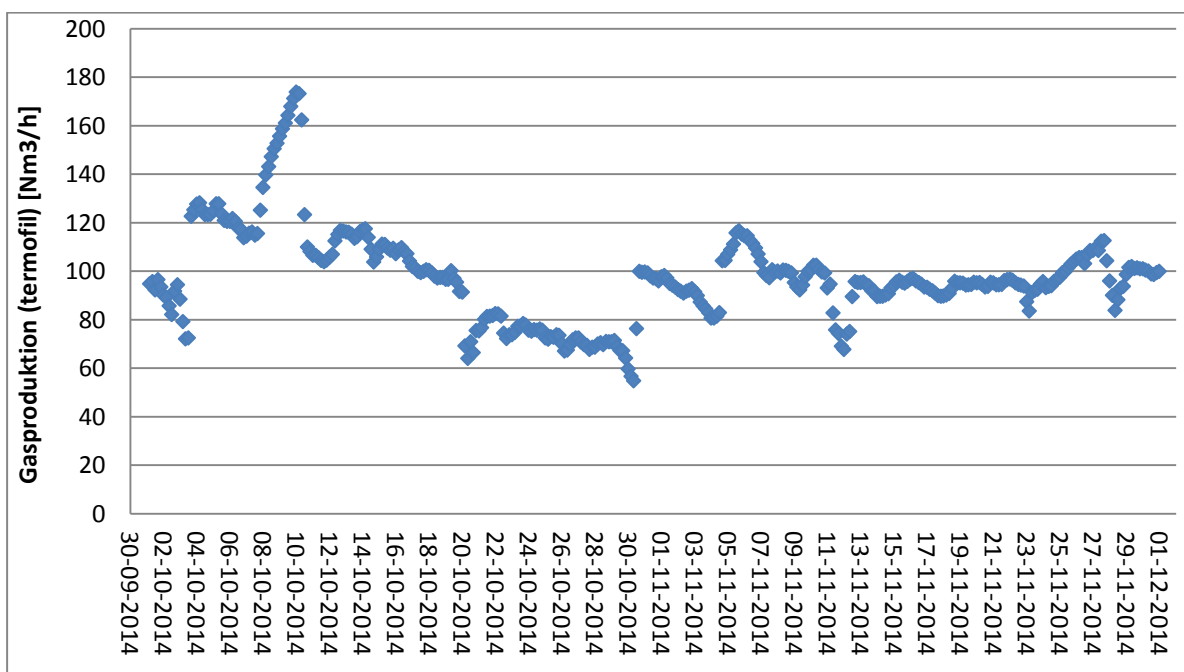


EnviDan

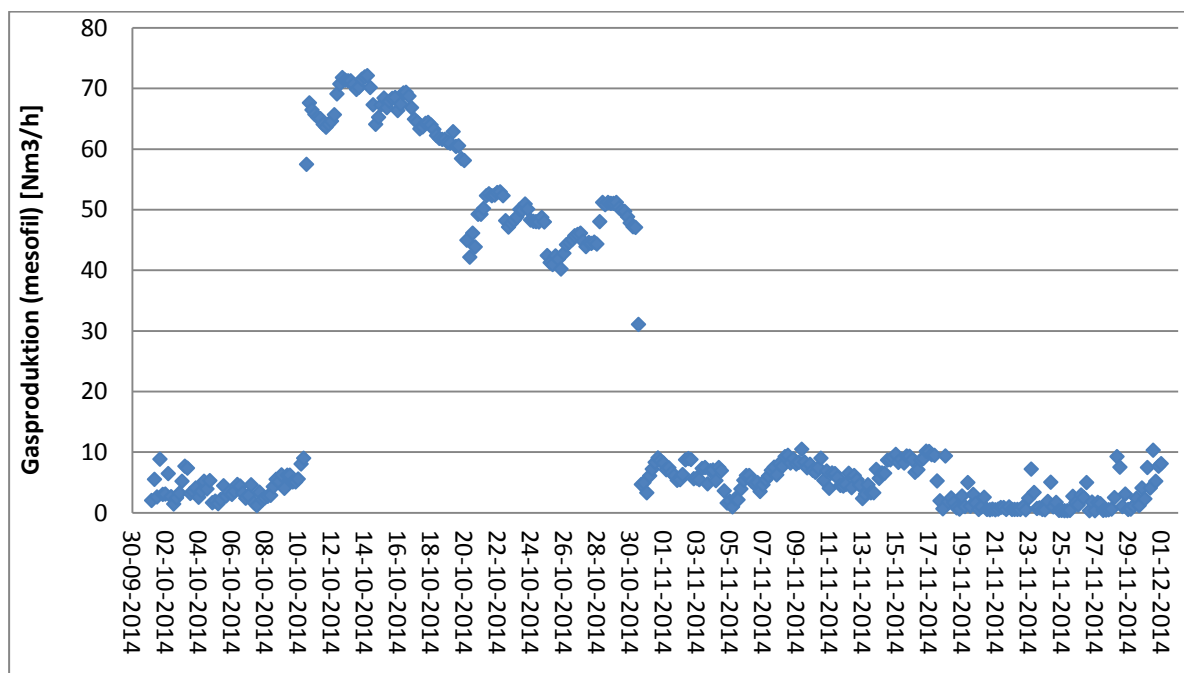
Primærslam tilført rådnetankene



Gasproduktion fra termofil rådnetank

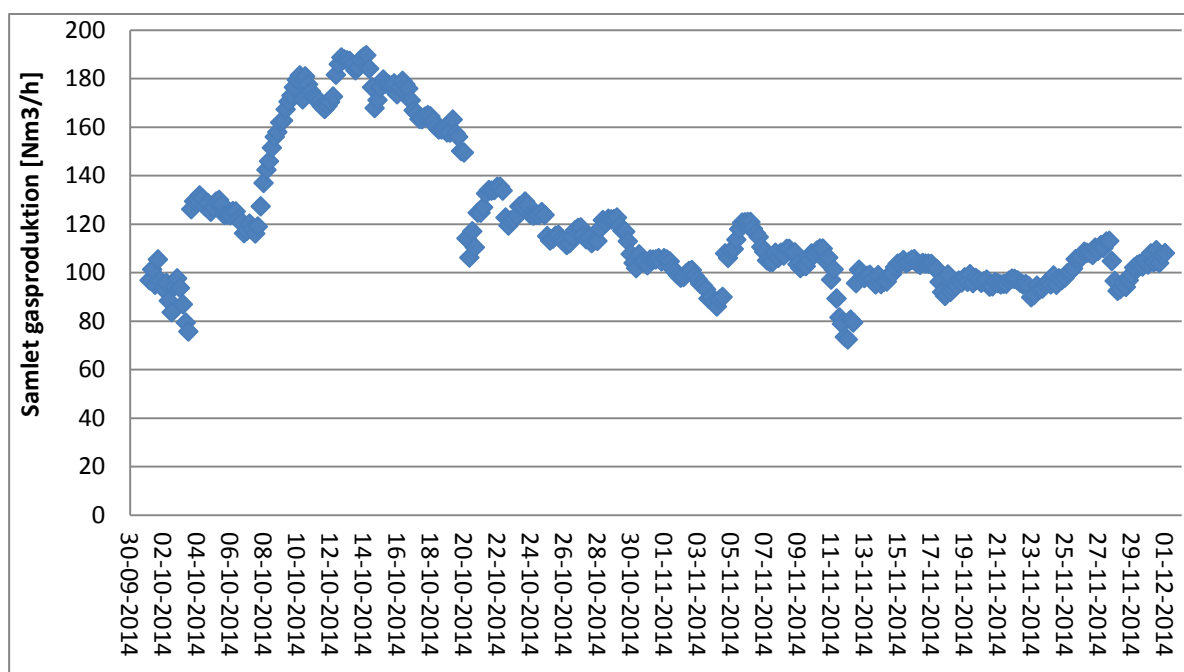


Gasproduktion fra mesofil rådnetank

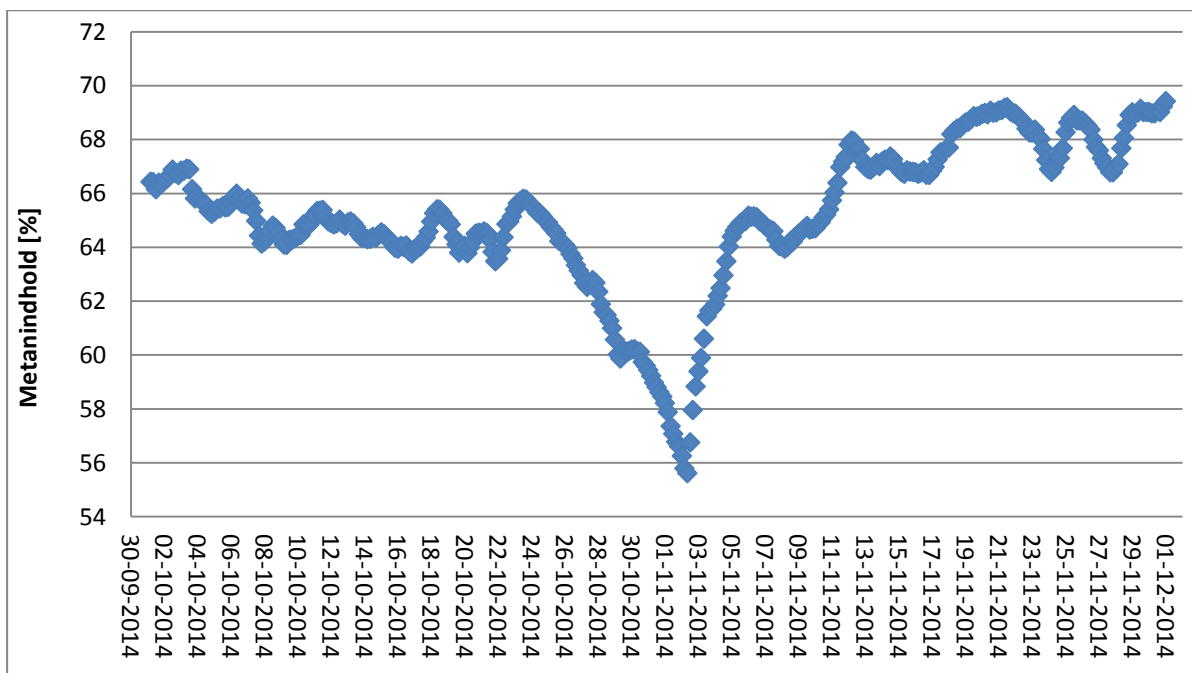


Stigningen i gasproduktionen i den mesofile tank omkring d. 10.10-2014 - 30.10-2014 skyldes åbning af ventil mellem termofil rådnetank og mesofil rådnetank. Den stigende gasproduktion i perioden i den mesofile tank er derfor ikke et udtryk for overbelastning af det termofile udrådningstrin.

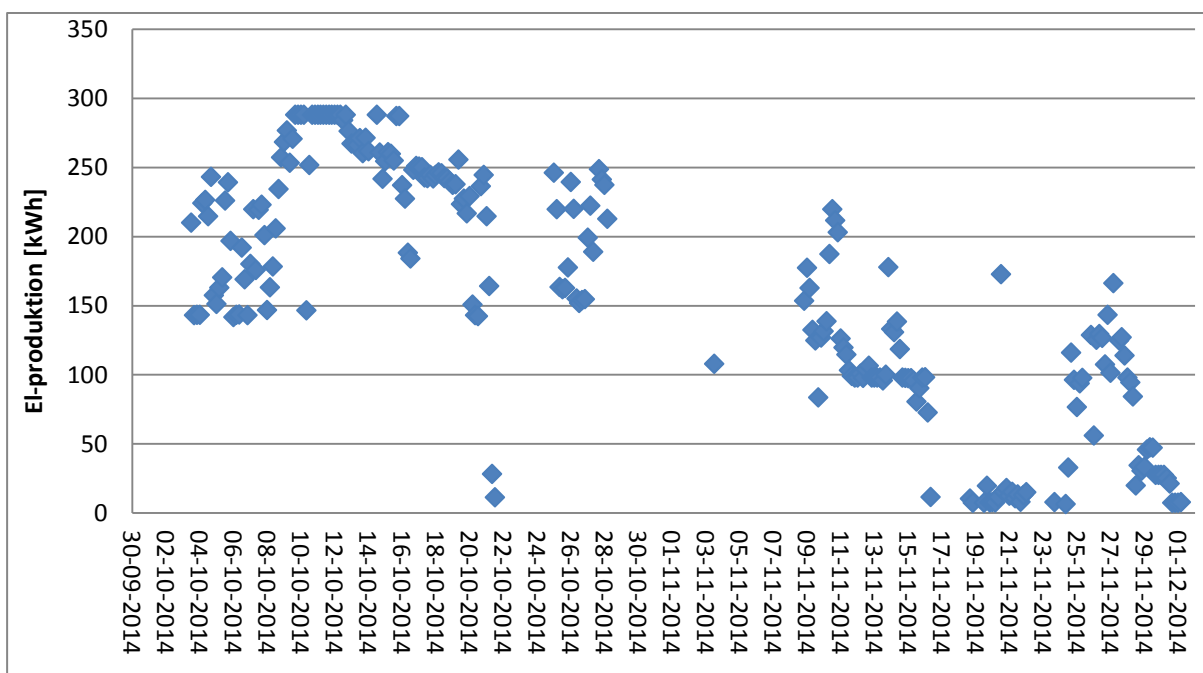
Samlet gasproduktion



Metanindhold i produceret biogas



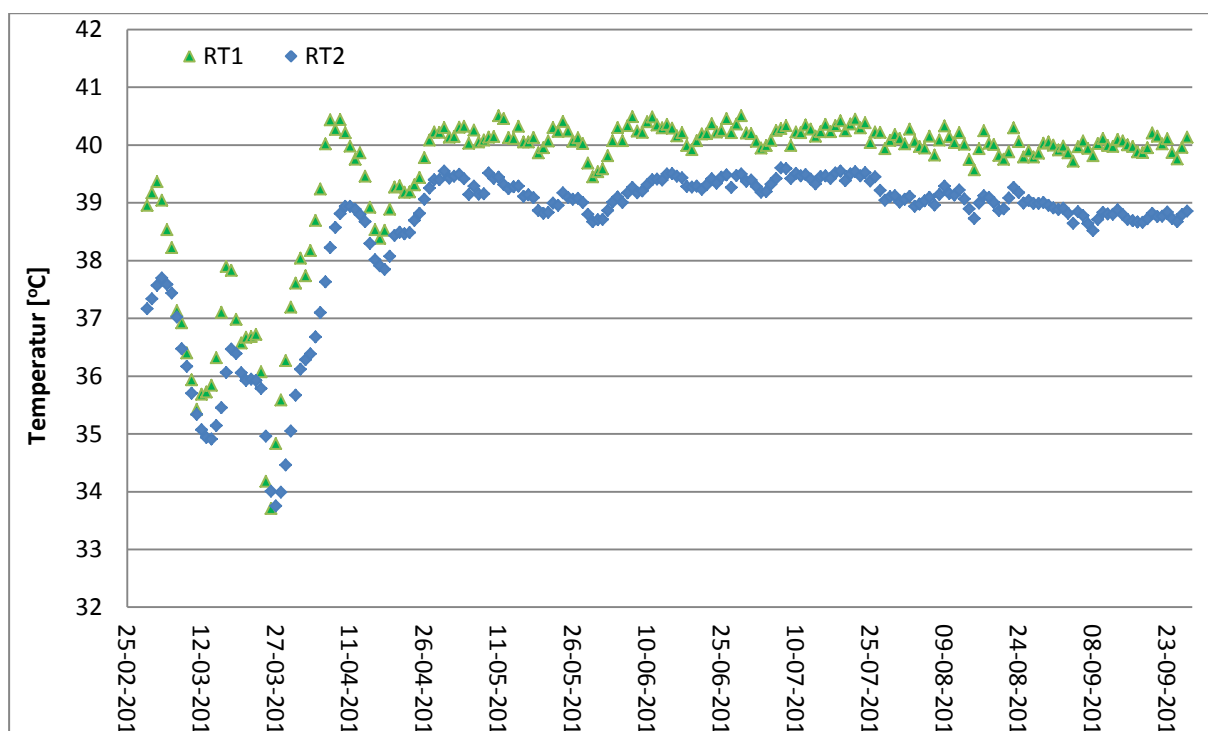
Elproduktion



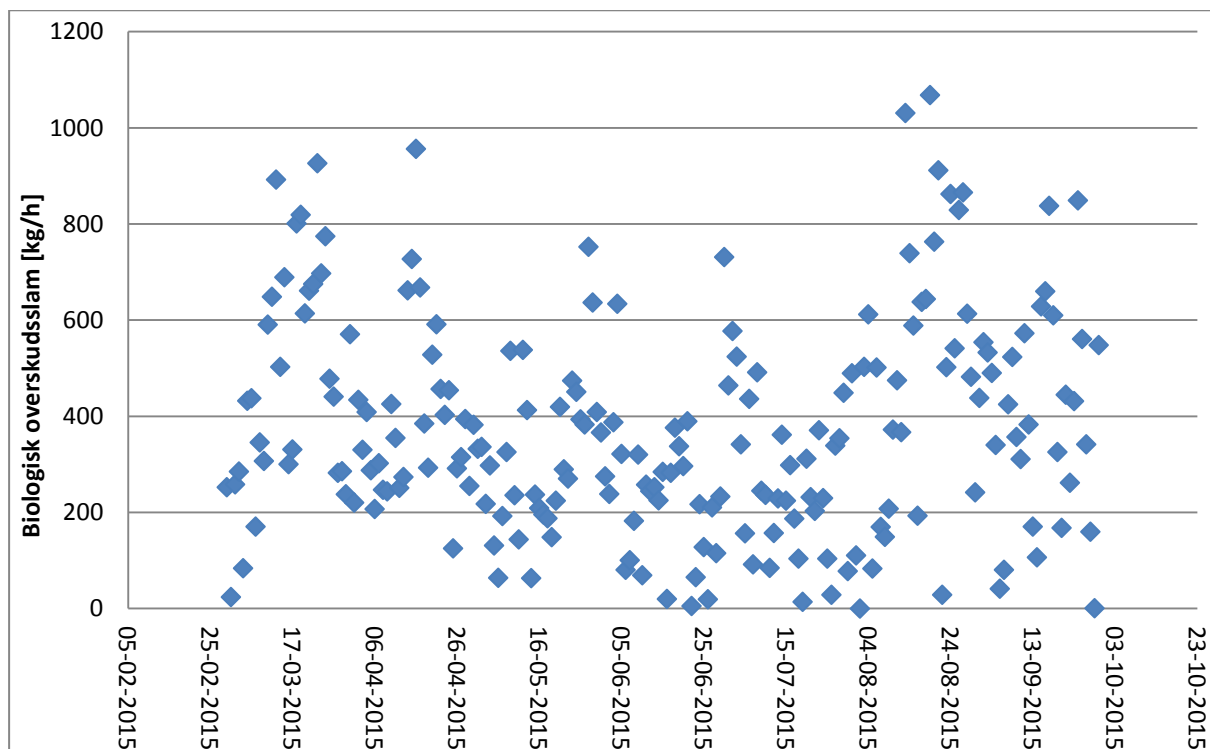
Data for Horsens Centralrenseanlæg

Der er modtaget data for rådnetankene i perioden 01.03-2015 - 30.09-2015.

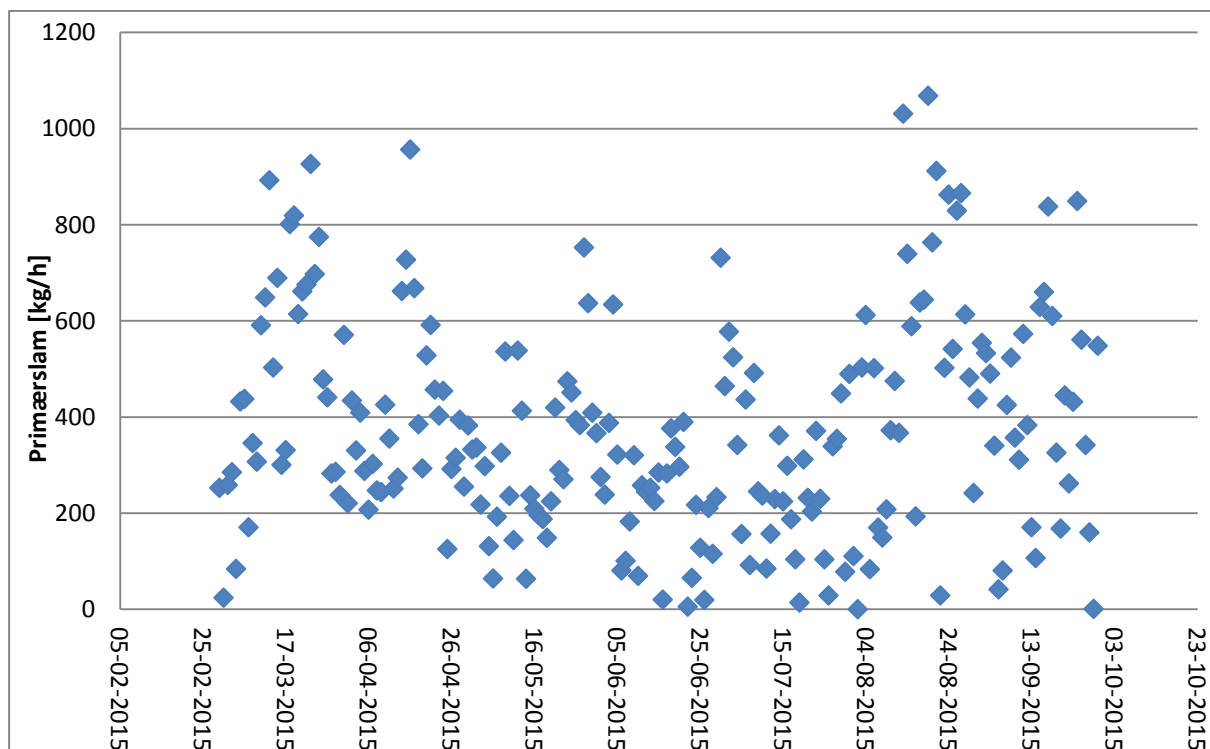
Temperatur i Rådnetank1 og 2.



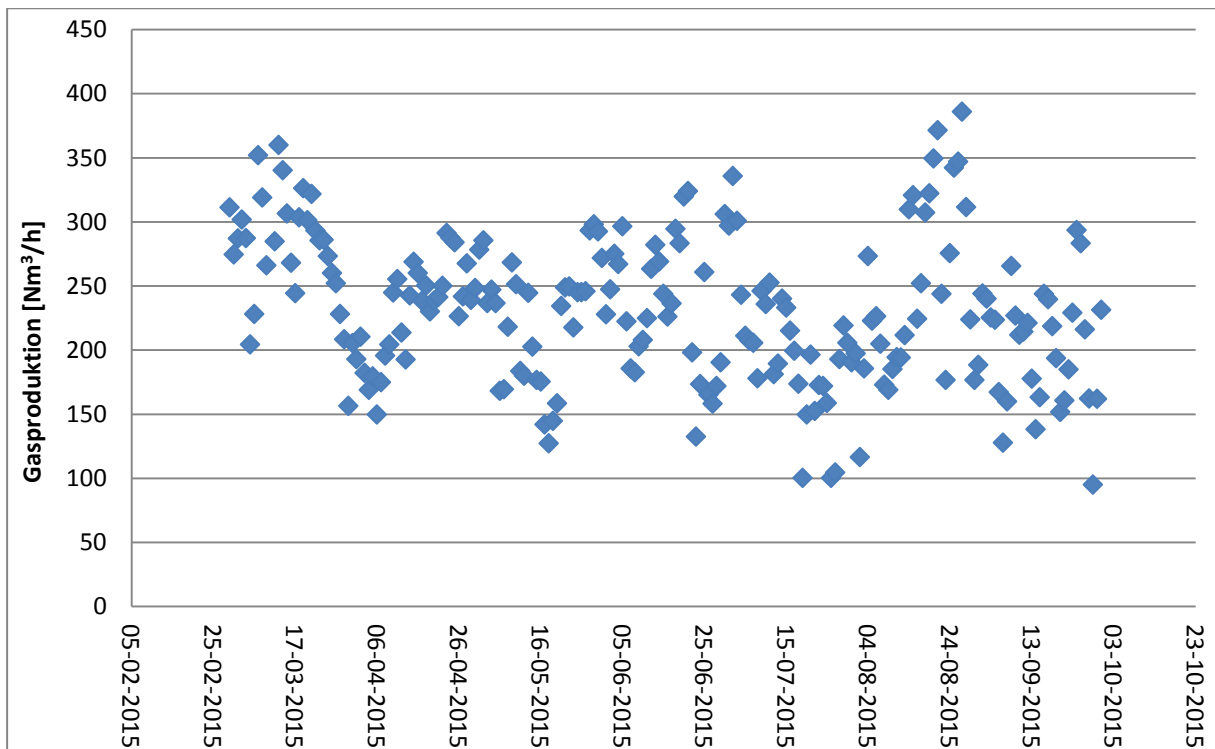
Biologisk overskudsslam tilført rådnetankene



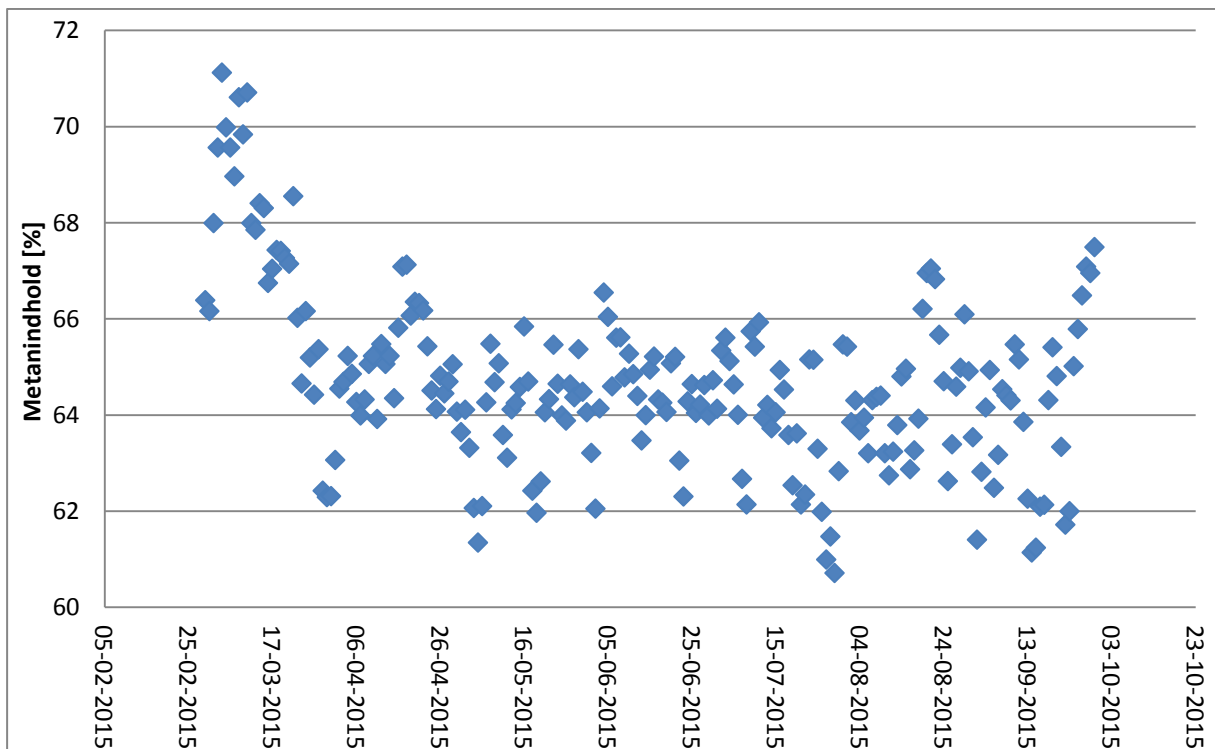
Primærslam tilført rådnetankene



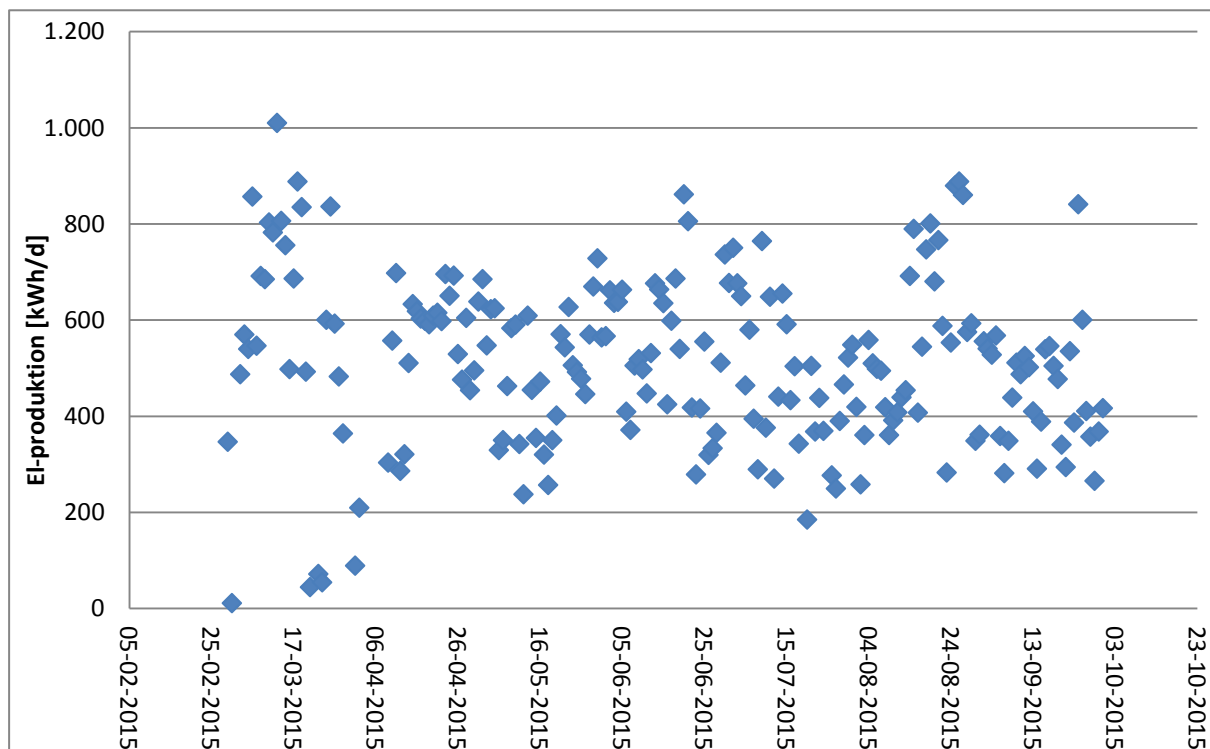
Samlet gasproduktion



Metanindhold i produceret biogas



El-produktion



Sammenligning af de to udvalgte modeller til beskrivelse af sammenhæng mellem tilført biomasse og gasproduktion.

