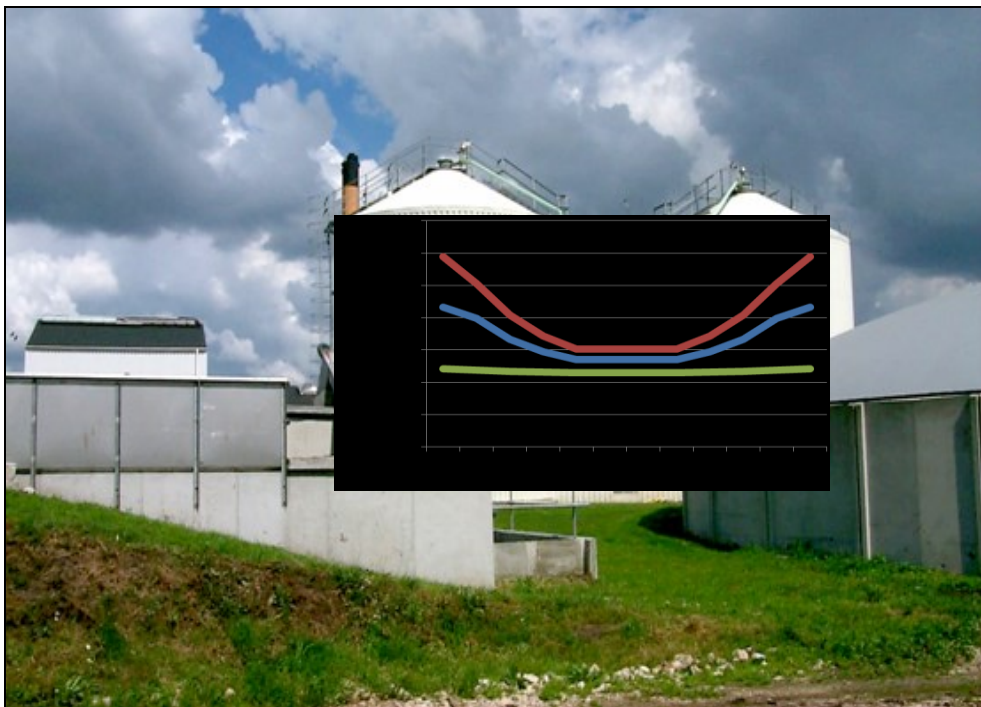


Muligheder for sæson- og døgnregulering af biogasproduktion

Peter Jacob Jørgensen og Henrik B. Møller



NORDJYLLAND
Jyllandsgade 1
DK-9520 Skørping
Tel. +45 9682 0400
Fax +45 9839 2498

MIDTJYLLAND
Vestergade 48 H, 2. sal
DK-8000 Århus C
Tel. +45 9682 0400
Fax +45 8613 6306

SJÆLLAND
Forskerparken CAT
Universitetsparken 7
4000 Roskilde
Tel.: +45 4117 3274

15. oktober 2013

www.planenergi.dk
planenergi@planenergi.dk
CVR: 7403 8212

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Biogasprocessen	3
	2.1 Organisk- og kvælstofbelastning	4
	2.2 Biomasse til sæsonregulering.....	6
	2.3 Erfaringer og laboratorie forsøg med sæsonregulering.....	8
3	Casestudie med sæsonregulering	9
	3.1 Sæsonregulering af biogasproduktionen	9
	3.2 Tørstofbelastning, organisk belastning og hydraulisk opholdstid.....	11
	3.3 Anlægs-mæssige tilpasninger og økonomiske analyser	14
4	Konklusion	18

Fejl! Bogmærke er ikke defineret

1 Indledning

I nærværende rapport er mulighederne for at sæsonregulere og endog døgnvariare biogasproduktionen på biogasfællesanlæg analyseret nærmere. Det første er interessant i tilfælde, hvor varme afsættes til mindre kraftvarmeværker, hvor sommervarmeforbruget er forholdsvis beskedent og mindre end en gennemsnitlig varmeproduktion fra et biogas-anlæg af 'rimelig' størrelse.

Det andet kan være interessant eller relevant, når og hvis elprisen varierer over døgnet og/eller man samfundsmæssigt måtte ønske kun, eller i hovedsagen, at producere el i spidslastperioder og for at balancere el-produktionen når andelen af vindmøllestrøm fremover stiger. En variation af døgnproduktionen skal derfor også ses i sammenhæng med mulighederne for at etablere større eller mindre gaslagre.

2 Biogasprocessen

For at vurdere mulighederne for sæsonvariation af biogasprocessen er det formålstjenligt kortfattet, at se lidt nærmere på biogasprocessen og hvilke procesparametre, man i givet fald skal forholde sig lidt nøjere til i fald man ønsker at variere belastningen af biogasreaktoren, hvilket der i virkeligheden er tale om ved såvel sæson- som døgnvariation.

Den anaerobe nedbrydning af organisk stof til biogas udføres af mange indbyrdes afhængige arter af mikroorganismer, der fungerer i en delikat symbiose. Ofte inddeler man processen i tre trin: Hydrolyse, syredannelse og metandannelse, hvor forskellige bakteriegrupper står for hver deres trin.

I hydrolysen nedbrydes højmolekylære stoffer til lavmolekylære af specialiserede bakterier. Processen foregår ekstracellulært, dvs. udenfor cellen. Bakterierne udskiller en række specifikke enzymer, der katalyserer nedbrydningen i den omgivende væske.

Herefter overtager en række syredannende bakterier, der nedbryder de nu lavmolekylære stoffer yderligere til en række organiske syrer, men frem for alt eddikesyre.

Og endelig nedbryder en metanbakteriegruppe til sidst de organiske syrer til metan og kuldioxid. En anden danner metan på baggrund af kuldioxid og brint. Disse to processer er under normale forhold i fin balance.

Det giver næsten sig selv, at også hele forløbet må være i balance. Producerer syrebakterierne hurtigere end metanbakterierne kan nå at aftage, kan processen 'løbe sur' pga. ophobning af organiske syrer.

En række parametre er derfor vigtige for at en proces er - og forbliver - stabil:

- Anaerobe - iltfrie - forhold
- Konstant temperatur
- Surhedsgrad
- Homogent substrat
- Ensartet organisk belastning
- Kvælstofbelastning

Men er sådanne forhold stabile er biogasprocessen som sådan, bl.a. pga. en meget stor bufferkapacitet i reaktoren, faktisk temmelig stabil og robust. Men får man først skubbet til balancen, kan processen være endog særdeles vanskelig at rette op igen.

I næsten alle tilfælde, hvor ustabilitet af den ene eller anden årsag, biologisk eller mekanisk, indtræffer, vil det være hensigtsmæssigt straks af sænke den organiske belastning, ved at mindske eller helt standse indpumpningen af friske råvarer eller ved at tilføje vand- og/eller at sænke temperaturen. Når processen således er stabiliseret, hvilket ofte kan vare 1 – flere HRT'er (Hydraulisk Retention Time - Opholdstid), kan belastning og temperatur igen øges gradvist.

Problematikken ved varieret belastning af reaktoren, som sæson- eller i endnu højere grad døgnvariation af biogasproduktionen indebærer, drejer sig derfor om, at man bevidst påfører systemet en øget risiko for proces-ustabilitet.

2.1 Organisk- og kvælstof belastning

Indholdet af tørstof og organisk tørstof (VS) følges ad. For en række husdyrgødninger udgør det organiske stof 75-80 % af tørstoffet. For energiafgrøder, f.eks. halm og ensilager, udgør VS ca. 90 % af tørstoffet.

Hvor hårdt en reaktor kan belastes med organisk tørstof hænger sammen med temperaturen i reaktoren, hvor godt processen fungerer, og hvor kort/lang opholdstiden i reaktoren er. I en fuldt omrørt reaktor udtages sammen med udrådnede biomasse en mængde aktive bakterier. Og da nedbrydningshastigheden er proportional med tætheden af bakterier betyder det, at for at processen skal forblive stabil må der ikke tilføres mere frisk biomasse end bakterierne til enhver tid kan følge med til at nedbryde og reproducere

bakteriebiomassen. I modsat fald vil der ophobes syrer, og processen 'løbe sur' fordi metanbakterierne ikke kan følge med de hydrolyserende og syredannende bakterier. Der findes dog ikke nogen helt fast øvre grænse for, hvor hårdt en reaktor kan belastes med organisk stof. Som tommelfingerregel ligger grænsen omkring 6 kg VS/m^3 reaktorvolumen pr. dag. Der er dog eksempler på anlæg, der har kørt ved højere belastninger. Men i så fald balancerer man så at sige på en knivsæg, og risikoen for ubalance er stor. Hvor lang den hydrauliske opholdstid skal være afhænger af procestemperaturen og nedbrydeligheden af de biomasser, der anvendes. Jo sværere nedbrydelige, jo længere, og jo lavere temperatur jo længere.

Traditionelt arbejder man i Danmark med en opholdstid (HRT) omkring 16-18 døgn ved termofil temperatur (ca. $52 \text{ }^\circ\text{C}$) og 20-22 døgn ved mesofil temperatur (ca. $37 \text{ }^\circ\text{C}$). Længere opholdstid vil kunne give lidt mere gas. Men økonomisk har dette med den anvendte teknologi og typiske biomasser vist sig ikke at kunne svare sig. Men med anvendelse af en stigende mængde energiafgrøder med en længere nedbrydningstid vil en lidt længere opholdstid dog kunne give et lidt større udbytte (- og et mindre tab fra efterfølgende lagring!). De fleste større anlæg anvender derfor i dag en primær reaktortank til hovednedbrydningen (ca. 90 %) og en efterafgasningstank, evt. ved en anden temperatur, som fungerer som sekundær reaktortank. Derved forlænges opholdstiden, og biogasudbyttet kan øges en smule.

En anden vigtig parameter at holde øje med i forbindelse med sæsonregulering af biogasproduktionen er kvælstofindholdet i biomassen. Biogasprocessen er forholdsvis følsom overfor indholdet af ammoniumkvælstof, eller rettere ammoniak, der er giftigt for alle levende organismer. Ved forholdsvis lave koncentrationer på 50 – 100 mg/ fri NH_3 pr. liter hæmmer ammoniak processen. 1.000 – 6.000 mg/l ammonium+ammoniak hæmmer ligeledes. I biogasreaktoren vil ammonium/ammoniak-kvælstof typisk udgøre 70-80 % af total-kvælstof, som normalt er den værdi, der er kendt.

Dvs. at man må regne med en kvælstof-hæmning allerede ved et par kg total-N/m^3 , og at hæmningen stiger med stigende indhold. I praksis kan bakterierne dog tilvænes et temmelig højt indhold af kvælstof, og der er eksempler på anlæg, der kører udmærket ved både 7 og 8 kg N/m^3 biomasse. Men det er klart, at jo højere indhold, jo større risiko for at løbe ind i ubalance med processen. I den sammenhæng spiller temperaturen ydermere en rolle, således, at jo højere temperatur, jo højere følsomhed. Som tommelfingerregel anbefales det derfor, at forsøge at holde belastningen under 6 kg tot.-N/m^3 eller $3 \text{ kg NH}_4\text{-N/m}^3$ i en termofil reaktor.

Som nævnt kan processen dog tilvænes et forholdsvis højt niveau. Men en sådan tilvæning skal ske langsomt. Et hurtigt stigende indhold vil ofte være skæbnesvangert for

processen. Dvs. ønsker man at øge biomassebelastningen, skal man forsøge at sikre sig, at kvælstofbelastningen ikke også bliver for høj og ikke mindst, at en stigning ikke sker for hurtigt.

Af nedenstående figur fremgår relationen mellem forholdet mellem ammonium og ammoniak og temperatur og surhedsgrad, pH. Det fremgår, at andelen af ammoniak stiger hurtigt såvel med temperaturen som med pH. For en normal, stabil proces ligger pH typisk omkring ca. 7,5. Det fremgår, at stiger pH væsentligt over det niveau vil en langt større andel af kvælstoffet være at finde som fri ammoniak. Det samme gælder for temperaturen. Skulle en proces eventuelt, af den ene eller anden grund, være blevet basisk kunne man måske forestille sig at man kunne justere ved at forsøge at 'tvinge' processen mod neutral (7) ved at tilsætte syre, f.eks. i form af ensilage. Men bufferkapaciteten er dog som nævnt meget stor i en reaktor og en sådan justering kan være vanskelig. Lettere vil det være at sænke temperaturen lidt, eller eventuelt begge dele.

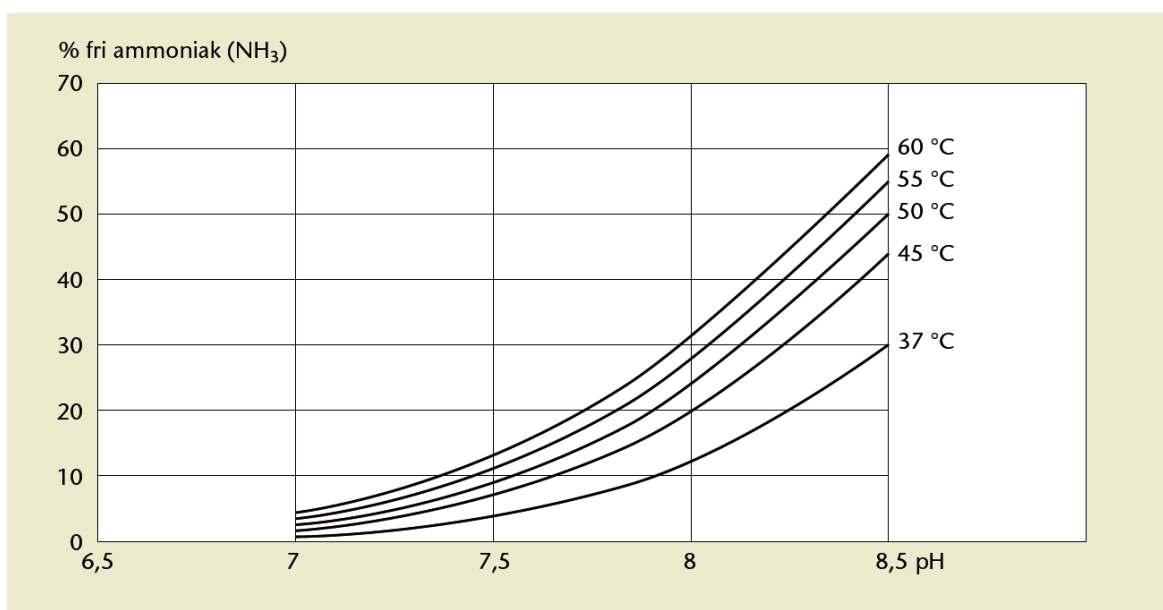


Fig. 1. Sammenhæng mellem temperatur og pH og forholdet mellem ammonium (NH_4^+ og ammoniak NH_3). % fri ammoniak angiver samtidig mængde ammonium, da mængden samlet er 100 %.

2.2 Biomasse til sæsonregulering

Der findes en række biomasser, der kan anvendes til sæsonregulering af anlæg, der drives på en basis-biomasse bestående overvejende af gylle.

I nedenstående tabel er vist en liste over anvendelige biomasser samt lidt om disses lagerstabilitet, da de jo skal gemmes til vinterbrug, og hvor vidt de belaster anlægget meget eller lidt med kvælstof.

De mest velegnede biomasser har en hurtig omsættelighed, et højt gaspotentiale, en høj lagerstabilitet samt et lavt kvælstofindhold. Biomasser med disse egenskaber vil dog oftest have en høj pris, hvilket betyder, at valget bliver en afvejning mellem kvalitet og pris, og dermed også lidt af, hvor stor en risiko man tør tage i forhold til kvælstofbelastningen.

Typer	Produkter	Lagerstabilitet	Kvælstofbelastning
Hurtigomsættelige afgrøder	Roer Majsensilage Græsensilage Græs/kløvergræsens.	Mellem	Lav Lav Medium Medium/høj
Langsomomsættelige afgrøder	Halm Enggræs	Mellem	Meget lav Medium
Gødningsprodukter	Kyllinge-dybstrøelse Kvæg-dybstrøelse Gyllefibre	Lav	Meget høj Høj Høj
Affaldsprodukter	C5 melasse (inddampet) Glycerin	Høj	Lav lav

Tabel 1. Potentielle biomasser til sæsonregulering

I figur 2 er metanudbyttet og råvareprisen for et udsnit af biomasser illustreret. De langsomt omsættelige afgrøder og gødningsprodukterne har en lavere pris end de hurtigt omsættelige afgrøder som roer og majs. Men til gengæld er omsætningshastigheden lav og disse biomasser er derfor ikke ligeså velegnede til sæsonvariation.

Til døgnvariation vil kun de hurtigt omsættelige råvarer være velegnede. Affaldsprodukter som glycerin har i dag en markedspris, der er så høj, at det oftest ikke er rentabelt at anvende. Husholdningsaffald vil i fremtiden sikkert kunne være en relevant biomasse, og da den primære omkostning ligger i indsamlings- og sorteringsleddet vil størstedelen af omkostningen sikkert blive dækket af kommunerne, der ser biogas som et miljøvenligt alternativ til forbrænding.

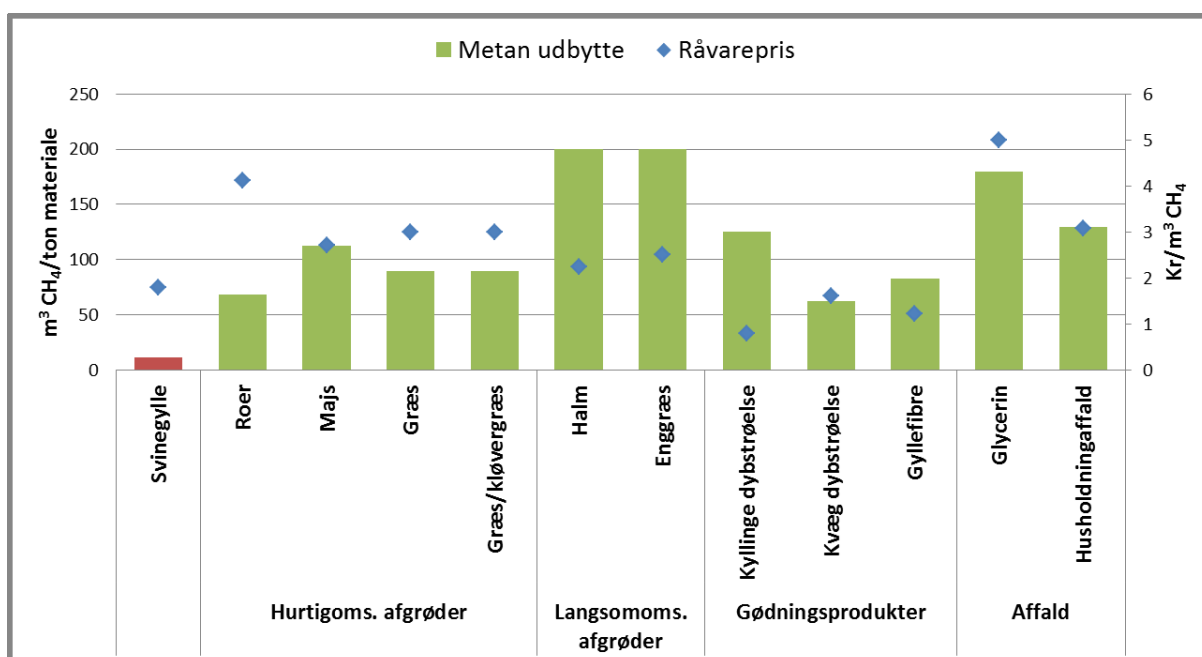


Fig. 2. Metanudbytte og råvarepris for et udsnit af biomasser

2.3 Erfaringer og laboratorieforsøg med sæsonregulering

I praksis er der forholdsvis få erfaringer med sæsonregulering i større stil, hvilket sikkert primært skyldes, at der mangler viden om hvorvidt processen kan klare hurtige skift af den organiske belastning, og fordi de økonomiske incitamentet oftest ikke har været til stede.

To mindre fællesanlæg, i Revninge og Davinde, har dog i omkring 15 år sæsonreguleret deres produktion rutinemæssigt med ca. en fordobling om vinteren i forhold til om sommerproduktionen. Revninge blev lukket i 2005, og Davinde fik kraftvarmeanlæg også omkring 2005, hvorefter Davindes motiv til regulering blev mindre.

Holbæk Bioenergi syd for Ribe har planlagt sæsonregulering fra starten. Oprindeligt var biogasanlægget dimensioneret til at udnytte 5.000 m³ gylle og 3.000 tons dybstrøelse om året. Derudover skulle der efter planen tilføjes 12.000 tons majs om året for at kunne dække gasforbruget på kraftvarmeværket i vinterhalvåret. Gedsted Biogas har muligvis også sæsonreguleret i flere år, men planlægger i hvert fald at gøre det fremover.

Generelt har alle de biogasanlæg, der har økonomisk motiv til det, sæsonreguleret i et mindre omfang.

På forsøgsbasis er der udført flere forsøg der viser, at processen oftest er robust overfor endog temmelig hurtige ændringer, hvis processen i forvejen er stabil.

I et forsøg ved AU har man analyseret processen ved en hurtig øgning af den organiske belastning med majs som biomasse. Forløbet er illustreret i figur 3. I forsøget blev belastningen med majs gradvist øget i step, først til 20 % og derefter til 30 og 40 %. Processen reagerede med stigende gasproduktion, og inden for det første døgn blev gasproduktionen fordoblet. Samtidigt steg indholdet af flygtige fede syrer (VFA). Indholdet af VFA toppede efter 20 dages majstilsætning til et niveau på 3.500 mg/liter ved en majsdosering på 30 %, hvorefter indholdet af VFA begynder at falde.

I praksis vil de fleste anlæg sikkert holde igen med doseringen som følge af det stigende VFA indhold. Men forsøget viser, at niveauet stabiliserer sig selv. I forsøget opnås der tæt på en tredobling af gasproduktionen i løbet af 30 dage, hvilket viser, at der er meget gode muligheder for hurtigt at opregulere gasproduktionen. I forhold til døgnregulering viser forsøget ligeledes, at gasproduktionen på mindre end et døgn kan fordobles. Udover målingerne af gasproduktionen er produktionen forsøgt modelleret med 2 modeller. Forsøget har vist at den modelerede gasproduktion er lavere end den faktisk målte, hvilket tyder på, at der har været opnået en vis grad af synergi ved blanding af de 2 produkter.

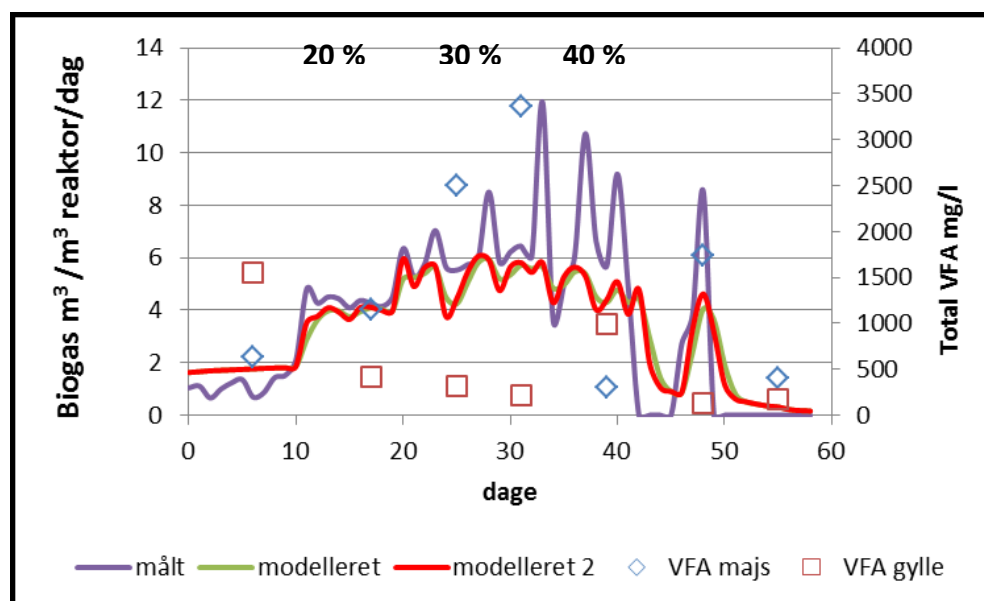


Fig. 3. Forsøg med anvendelse af majs til regulering af gasproduktion. Model 1 = gas fra majs over 3 dage, Model 2 = gas fra majs over 2 dage. Majs: 320 L CH₄/kg VS, Gylle: 290 L CH₄/kg VS.

Det kan således konkluderes, at der er forsøgsmæssigt belæg for at hævde, at sæsonregulering og sågar døgnvariation af biogasproduktion ved varieret tilførsel af biomasse – i

denne sammenhæng energiafgrøder - faktisk er muligt og kan praktiseres i et ganske betydeligt omfang, hvis dette måtte findes energi- og /eller økonomisk interessant.

3 Casestudie med sæsonregulering

3.1 Sæsonregulering af biogasproduktionen

Nedenstående figur er udarbejdet ved et konkret biogasprojekt på Djursland. I projektet er det hensigten at producere kraftvarme på basis af biogassen og sælge overskydende varme til et lokalt fjernvarmeværk. Under de givne forudsætninger overstiger varmeproduktionen fra biogasanlægget dog, som det ses, varmeværkets sommerbehov, hvis biogassen, som normal praksis er, produceres jævnt over året. Der er således ikke fuld samtidighed mellem varmekonsum og biogasproduktion over året, og uden en regulering vil man være nødsaget til at bortkøle en større mængde varme om sommeren, hvilket naturligvis energimæssigt er et spild, men derudover koster el til kølere.

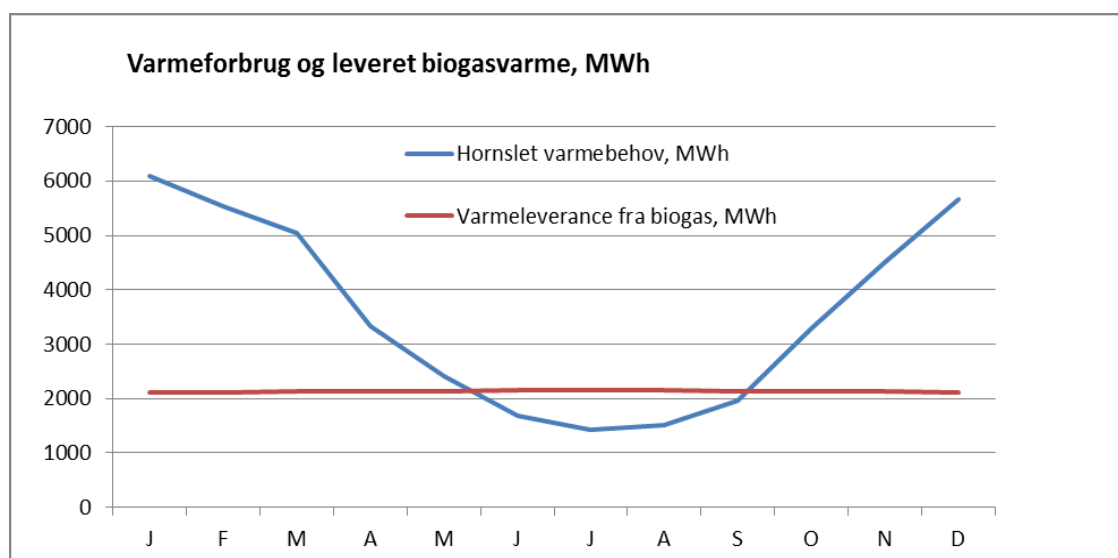


Fig. 4. Månedligt varmebehov i Hornslet i forhold til leveret varme fra Djurs Bioenergi ved jævn og konstant biomasseforbrug og gasproduktion måned for måned.

Det fremgår i dette tilfælde at varmeproduktionen fra biogasanlægget fra midt i maj til midt i september er større end varmebehovet i Hornslet. Uden andre ændringer vil man i så fald være nødt til at bortkøle overskuddet. I det konkrete projekt påtænkes anvendt en vis mængde energiafgrøder i form af majs- og græsensilage. Sådanne biomasser skal indkøbes og lagres i et givet tidsrum. Det er derfor muligt, at en del af sommerbiogasproduk-

tionen så at sige med energiafgrøder i stedet kan flyttes til vinter, i det omfang anlæggets kapacitet i øvrigt tillader det, og biogasprocessen kan tåle det.

I sådanne konkrete tilfælde kendes varmebehovet måned for måned fra tidligere år, og det vil på baggrund af forventninger om biomassernes gaspotentialer være muligt, i hvert fald teoretisk, at få de to ovenstående kurver til at 'falde sammen' ved en hensigtsmæssig fodring af reaktoren.

Kurveforløbet giver i øvrigt gode muligheder for at ændre belastningen langsomt og gradvist, svarende til henholdsvis et stigende eller et faldende varmebehov, hvilket giver en høj grad af sikkerhed for at undgå procesproblemer.

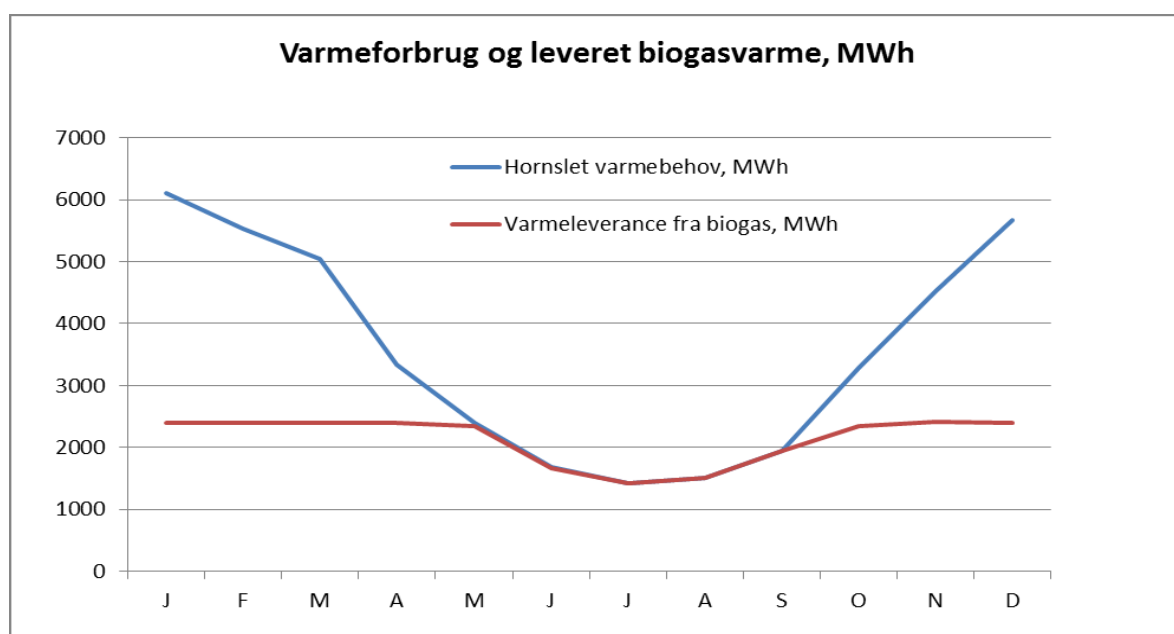


Fig. 5. Leveret biogasvarme afstemt efter varmeværkets månedlige varmebehov. I praksis er det naturligvis biogasproduktionen, der varieres, og da biogassen via et motor-generatoranlæg omsættes til kraftvarme, vil både den månedlige biogasproduktion og elproduktionen følge samme kurveforløb

Ovenstående kurveforløb kan opnås ved måned for måned, i praksis næsten dag for dag for dette konkrete projekt, at variere alene på tilførslen af energiafgrøder, som nedenstående figur viser.

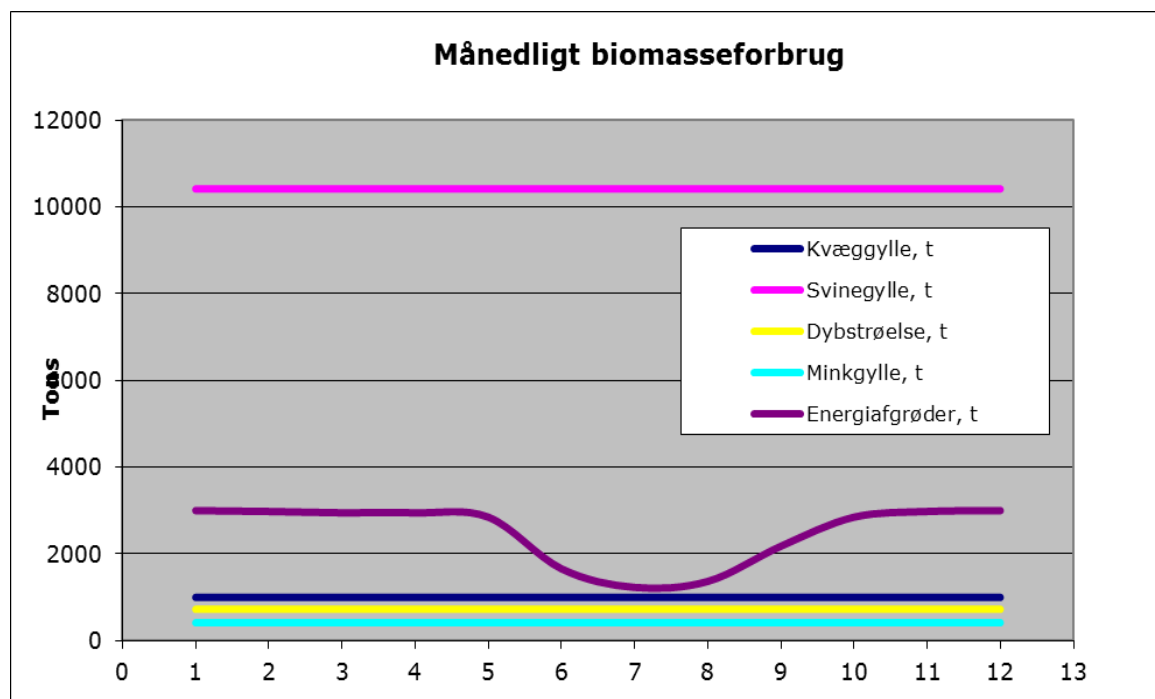


Fig. 6. Månedlig variation af tilførsel af diverse biomasser. Kun tilførslen af energiafgrøder varieres i dette tilfælde

Men ønskes en sådan sæsonregulering i praksis, er der flere faktorer, man bliver nødt til i første omgang at beregne på, og sidenhen i praksis at måle og følge så omhyggeligt som muligt for at sikre, at processen ikke løber løbsk og bliver ustabil.

3.2 Tørstofbelastning, organisk belastning og hydraulisk opholdstid

Tørstofindholdet i den tilførte biomasse er principielt kun en potentiel begrænsning i forhold til at den mekanisk skal kunne indføres i reaktoren, og det vil i de fleste tilfælde sige pumpes, og her kunne omrøres uden alt for stort energibehov.

Som tommelfingerregel kan en biomasseblanding kun dårligt pumpes, hvis tørstofindholdet væsentligt overstiger 10 %. I reaktortanken kan tørstofindholdet derimod godt, som gennemsnit af tilført materiale, være lidt højere og samtidig kunne omrøres. Det hænger sammen med, at tørstofindholdet som følge af nedbrydningen af organisk stof hurtigt reduceres i reaktoren. Ønskes en højere belastning må en del af biomassen derfor tilføres direkte. Et tørstofindhold på gennemsnitligt 13-15 % i tilført materiale svarer ca. til 9-11 % i reaktoren. Nedenstående figur viser hvordan tørstofindholdet, det organiske tørstofindhold og den hydrauliske opholdstid varierer måned for måned i ovenstående tilfælde, hvor tilførslen af energiafgrøder varieres over året.

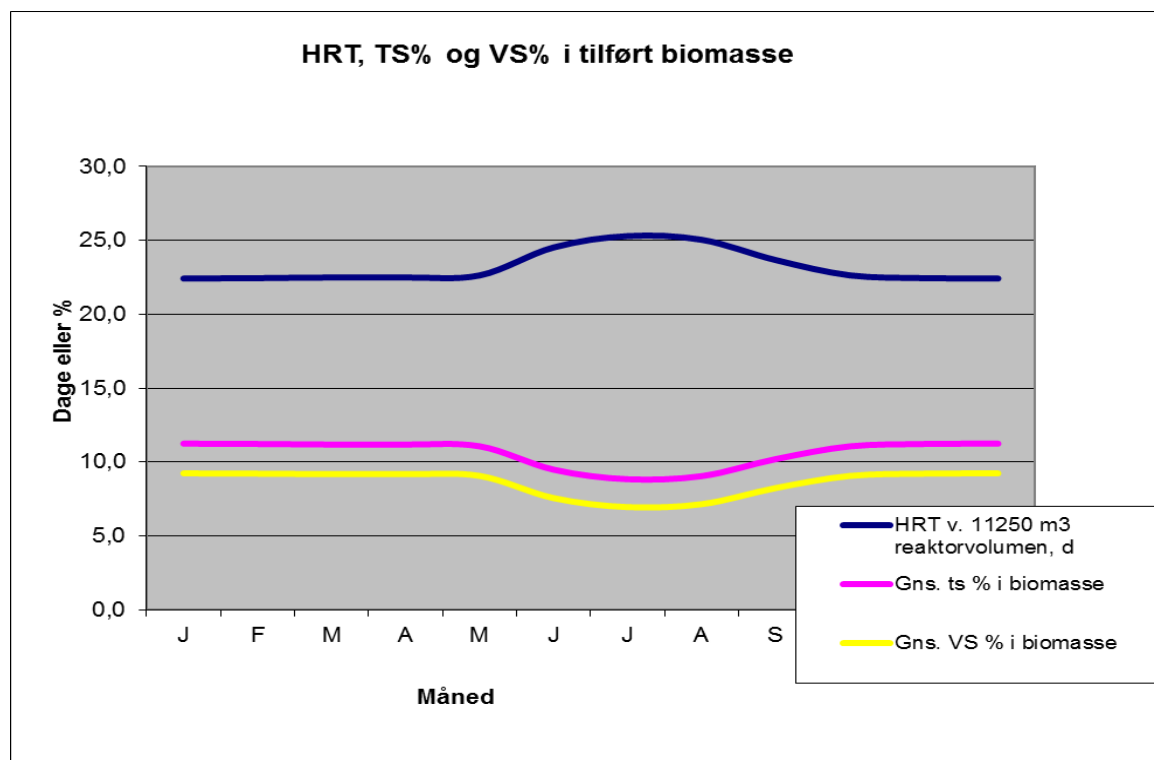


Fig. 7. Månedlig variation af gennemsnitlig tørstofprocent, organisk tørstofprocent og hydraulisk opholdstid som resultat af varieret tilførsel af energiafgrøder for et konkret biogasprojekt. Det fremgår, at alle parametre holdes indenfor de ovenfor beskrevne grænser for hvad der teoretisk er teknisk og biologisk muligt.

Af nedenstående figur fremgår på samme måde variationen i den organiske belastning af reaktoren som følge af variationen i tilførslen af energiafgrøder. Også denne parameter holder sig i dette konkrete tilfælde på den sikre side af den øvre grænse, og processen må derfor formodes at kunne forløbe stabilt. Bl.a. fordi forandringerne sker langsomt over tid, så bakteriekulturene kan nå gradvist at tilpasse sig de ændrede betingelser. Det fremgår af figuren, at den organiske belastning falder temmelig drastisk som følge af tilførsel af mindre mængde energiafgrøder i sommermånederne, maj, juni og juli. Et fald i den organiske belastning er imidlertid ikke kritisk.

Det kan derimod en øgning, som den forekommer om efteråret, august, september, oktober evt. være. Men da belastningen øges gradvist og ganske langsomt, dag for dag, og over flere måneder – flere HRT'er, er det sandsynligt, at bakteriekulturene vil kunne nå at følge med og bliver opformerede til den øgede biomasse mængde uden procesproblemer. Det vil dog være i denne periode, at man vil skulle overvåge processen ekstra omhyggeligt, evt. med daglige målinger af VFA (organiske syrer), således at man evt. vil kunne nå at justere tilførslen, hvis begyndende ubalance er ved at indtræffe.

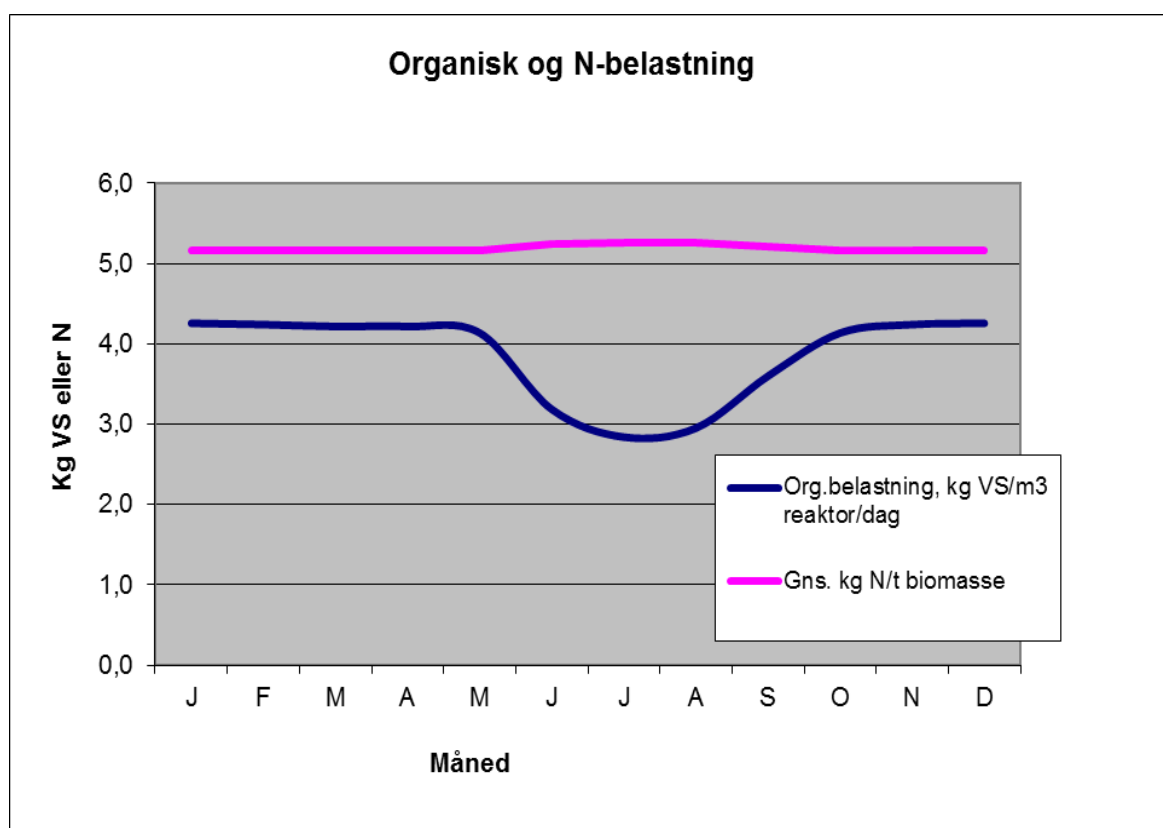


Fig. 8. Variation i organisk belastning af biogasreaktoren, kg VS pr. m³ reaktorvolumen pr. dag og variation i kvælstofbelastningen, kg tot. N/m³ biomasse som følge af variationen i biomassetilførslen, se fig. 6.

3.3 Anlægmæssige tilpasninger og økonomiske analyser

Som nævnt ovenfor kan det evt. være interessant at se på mulighederne for at sæsonregulere biogasproduktionen i situationer hvor hele varmeproduktionen fra en given biogasmængde ellers ikke vil kunne udnyttes. Men en sådan regulering kræver som behandlet ovenfor, at anlægget procesmæssigt også kan tåle en sådan regulering. Ovenstående analyser synes at vise, at der i hvert fald teoretisk for et 'almindeligt' anlæg er rimeligt vide muligheder, hvis det findes interessant. Væsentlige procesparametre synes at være til at kontrollere indenfor procesmæssigt robuste grænser.

I afsnit 2 er omtalt en række biomasser, der i givet fald vil kunne anvendes, samt de enkelte iboende fordele og ulemper. Desuden er i afsnit 2 omtalt en række laboratorieforsøg, der tydeligt synes at understøtte konklusionen: det er absolut muligt at regulere biogasproduktionen ganske væsentligt såvel på sæsonbasis som sågar på døgnbasis, hvis det findes interessant.

Om det i givet fald kan være interessant afhænger naturligvis af økonomiske forhold. I den sammenhæng vil det være nødvendigt i det konkrete tilfælde at analysere økonomien i forhold til bl.a. nødvendige ekstrainvesteringer pga. eventuelle anlægsmæssige tilpasninger samt ekstraindtægter pga. f.eks. ekstra varmesalg (og evt. højere pris).

Forhold der særligt skal vurderes i den sammenhæng er:

- 1) Kapacitet mht. opbevaring og indfødning af biomasser
- 2) Motorgeneratorkapacitet
- 3) Kapacitet i gassystemet

Normalt vil der givetvis sjældent være problemer med opbevaring af ekstra biomasse til en forøget produktion om vinteren. Typisk vil dette oftest kunne løses ved et forøget flow, således at mellemlagringen på anlægget blot bliver kortere. Derimod kan der evt. blive behov for ekstrainvestering i udstyr til håndtering og indfødning af en øget mængde energiafgrøder, f.eks. i form af f.eks. en større biomixer eller lignende, der kan klare et øget biomasseflow, specielt hen over weekends. Alternativt kan der evt. blive tale om at mandskabet må ind på anlægget og 'fylde op' også i weekenden.

Ved kraftvarmeproduktion med motorgeneratoranlæg planlægges normalt med en motor med en lidt større kapacitet end strengt nødvendigt ved en kontinuert, helt jævn biogasproduktion. Ofte kombineres endog med et mindre gaslager for at give lidt fleksibilitet og for at kunne styre mindre 'naturlige' time- og evt. døgnvariationer i gasproduktionen. Man må således prøve at analysere om motorkapaciteten er stor nok til at kunne klare den ønskede sæsonvariation.

På samme måde må man analysere om gassystemet, og ikke mindst gasreanseanlægget, kan klare en ofte ganske væsentligt forøget gasproduktion i vinterhalvåret. Flere andre forhold kan evt. komme på tale.

Tager man udgangspunkt i det konkrete planlægningsprojekt nævnt ovenfor med traditionel kraftvarmeproduktion på motorgeneratoranlæg og varmesalg til et varmeværk baseret på halm, vil den variation i biomassetilførslen, som er skitseret i fig. 6 føre til variationer i flowet på anlægget som angivet i tabel 2.

Parameter	Minimum - Sommer	Maksimum - Vinter	Enhed
Biomasseflow	454	512	t/døgn
Biogasproduktion	17.300	27.900	m ³ /døgn
HRT	25,3	22,4	døgn
Tørstof	8,8	11,2	%
Organisk tørstof (VS)	6,9	9,2	%
Organisk belastning	2,8	4,3	Kg VS/m ³ /d
Kvælstof belastning	5,26	5,15	Kg tot.-N/tons
Max. indfyret effekt	6,1	6,8	MW
Effekter			
Forøgelse af varmesalg	2.000		MWh/år
Sparet bortkøling	2.000		MWh/år
Sparet halm	600		Tons
Forøget dækningsgrad af varmeværkets samlede varmebehov	10		%

Tabel 2. Variation af forskellige parametre som følge af sæsonvariation af biomasse-tilførslen

Det fremgår af tabel 3, at det er forholdsvis store variationer den varierede biomasse tilførsel giver anledning til:

Parameter	Reduktion (-) forøgelse (+) %	Bemærkning
Procesmæssige		
HRT - opholdstid	(-) 12	Acceptabelt i forhold til anvendte biomasser og anvendelse af sekundær rådnetank
Tørstof-%	(+27)	Acceptabelt – holder sig under grænsen
Organisk tørstof-%	(+33)	Acceptabelt – holder sig under grænsen
Organisk belastning	(+53)	Acceptabelt – holder sig under grænsen
Kvælstofbelastning	(-2)	Acceptabelt - ubetydeligt
Økonomiske		
Gasproduktion	(+) 60	Gassystem må opgraderes
Max. indfyret effekt	(+) 11	Motor sandsynligvis stor nok?

Tabel 3. Variation af parametre som følge af variationen i tilførslen af biomasser/energi afgrøder for at tilpasse varmeproduktionen til et givet varmebehov

Af nedenstående tabel fremgår en skønnet og delvist beregnet merinvestering, beregnede merindtægter samt den beregnede effekt på selskabsøkonomien af, i ovennævnte biogasprojekt, så at sige at 'flytte varme' fra sommer til vinter ved at sæsonregulere.

Økonomi	
Merinvestering 1.000 kr.	
Besparelse på nødkøleanlæg	-500
Reaktorkapacitet øget (marginal)	100
Motorgeneratoranlæg øget + 10 %	1.000
Gassystem kapacitet + 15 %	1.000
Gasledning kapacitet + 15 %	1.200
Diverse	400
I alt	3.200
Merindtægt 1.000 kr./år	
Sparet elforbrug	100
Mersalg varme	400
I alt	500
Selskabsøkonomi 1.000 kr./år	
Årlig forbedring	220

Tabel 4. Merinvestering, merindtægt/besparelse og resulterende effekt på selskabets økonomi ved at sæsonregulere efter varmeværkets varmebehov.

Som det fremgår af ovenstående tabel vil det koste ca. 3,2 mio. kr. at tilpasse et konkret projekt til at kunne sæsonregulere sin biogas- og dermed varmeproduktion efter varmeværkets varmebehov. Men denne merinvestering vil skønsmæssigt i dette tilfælde forbedre selskabets økonomi med ca. 220.000 kr. om året netto. På den baggrund vil der ikke være meget at betænke sig på, da beløbet er beskedent i forhold til den samlede investering på omkring 80 mio. kr. Men merinvesteringen vil også i sig selv have en simpel tilbagebetalingstid på ca. 14 år, og isoleret set på den baggrund forekommer merinvesteringen således knapt så god.

Som alternativ til sæsonregulering kunne man forestille sig, at hvis anlægget alligevel er blevet opgraderet til en øget belastning, ville det så ikke, alt andet lige, i stedet bedst kunne betale sig blot at køre løs med højeste belastning?

Igen med udgangspunkt: I stedet for at tilpasse til varmeproduktionskurven til værkets varmebehov (fig. 2) køres nu blot på med øget produktion på basis af indkøbte biomasser

på det høje niveau, dvs. vinterniveauet og med bortkøling af en endnu større varmemængde.

En sådan driftsstrategi vil resultere i en forøgelse af gasproduktionen fra 10,4 til 12,4 mio. m³/år, og det vil forbedre selskabsøkonomien med ca. 1 mio. kr. pr. år. Alt andet lige ville dette således være en bedre forretning end at sæsonregulere i det konkrete tilfælde. I hvert enkelt tilfælde vil balanceprisen for den anvendte biomasse kunne beregnes. I det konkrete tilfælde, der her er regnet på, fås følgende værdier.

Energiafgrødepris (Majsensilage, lav. FK, TS 30 %, 1,21 kg TS/FE)			Årligt overskud, 1.000 kr	
Kr./ton	Kr./kg TS	Kr./FE	Konstant produktion (48.000 t/år)	Variert Produktion (36.300 t/år)
250	0,83	1,01	6.250	5.050
300	1,00	1,21	3.730	3.140
350	1,16	1,41	1.210	1.230
374			0	320
382			-430	0
400			-1.310	-670

Tabel 5. Effekt af energiafgrødepris på det resulterende selskabsøkonomiske overskud ved henholdsvis konstant (høj) drift eller varieret, sæsonreguleret drift. Tallene i () angiver den samlede anvendte mængde energiafgrøde i den givne situation.

Som det fremgår af ovenstående er resultatet af hvorvidt det bedst kan betale sig at sæsonregulere eller blot 'at køre på' med en høj gasproduktion afhængig af prisen på biomassen. Ved en biomassepris på 250-300 kr. kan det bedst betale sig at producere maksimalt og bortkøle overskydende varme. Ved en pris på 350 kr./tons tipper økonomien til fordel for sæsonvarieret drift.

Det skal bemærkes, at der i den økonomiske analyse ikke er indregnet eventuelle driftsmæssige forstyrrelser og tab som følge heraf. Men ved at variere belastningen/produktionen påfører man jo bevidst anlægget en øget risiko for driftsforstyrrelser. Fører dette bare en gang over en årrække til en alvorlig hæmning af længere varighed kan den selskabsøkonomiske 'fidus' ved sæsonvariationen hurtigt være sat over styr. En risikovurdering bør derfor også indgå i overvejelserne for eller imod sæsonregulering.

4 Konklusion

Konklusionen i forhold til mulighederne for at sæsonvariare er således, at:

- det er teknisk og biologisk muligt at variere biogasproduktionen over året
- det er muligt at øge/variare produktionen med mere end 100 %
- det er ligeledes teknisk og biologisk muligt at variere døgnproduktionen, hvis dette findes interessant

Hvorvidt dette i givet fald er interessant og evt. vil blive gennemført i praksis, afhænger af en økonomisk analyse for et konkret anlæg og i en given konkret forsyningssituation, da det alt andet lige *er* lettere at drive et anlæg konstant og jævnt året rundt, end at variere produktionen. Der skal således være et økonomisk incitament for at man kan forvente, at nogen vil gennemføre en sådan procesændring.

Den økonomiske analyse i case-studiet giver anledning til at drage følgende konklusioner:

- Såfremt det konkrete anlæg ikke er maksimalt belastet, og det ikke umiddelbart er muligt at skaffe yderligere ('gratis') biomasser, kan det betale sig at sæsonvariare biogasproduktionen med indkøbte energiafgrøder – dvs. 'gemme' energiafgrøder til vinterbrug.
- Såfremt anlægget er maksimalt belastet, kan det bedst betale sig at producere maksimalt året rundt, dog afhængigt af energiafgrødeprisen, hvor høje afgrødepriser vil favorisere sæsonvariation.
- Gassystemet (især ledninger) bør dimensioneres efter maksimal belastning fra starten.
- Muligheder og begrænsninger bør analyseres og beregnes i hvert enkelt tilfælde.