



Forskere strides om biobrændstoffer	1
Lad bilerne køre på græs	4
Den miljøvenlige brændeovn	5
20 procent mere el med to reaktorer	6
Tjærefri forgasning i stor skala	8
Rens røgen og spar på halmen	10
EUDP skal afløse EFP	11
Biogas og naturgas til transport	12

## Forskere strides om biobrændstoffer

Forskerne strides højlydt om det fornuftige i at bruge biomasse i stedet for benzin og diesel, og politikerne kan heller ikke rigtigt finde deres ben at stå på. Den ene dag er der store perspektiver i biobrændstoffer – den næste dag er den grønne olie igen sendt til tælling.

*Af Torben Skøtt*

Den 19. januar offentliggjorde regeringen sin nye energiplan "En visionær Dansk Enerkipolitik", der blandt andet har som målsætning, at ti procent af transportsektorens energiforbrug skal dækkes af biobrændstoffer senest i år 2020.

Biobrændstofferne skal altså erstatte en del af vores nuværende forbrug af benzin og diesel, men hvordan det helt konkret skal foregå, står endnu hen i det uvisse. I de officielle papirer fra offentliggørelse af energiplanen hedder det blot: "Regeringen er parat til at fastsætte et delmål tidligere end 2020, forudsat at der er udviklet tilstrækkeligt sam-

*fundsøkonomisk konkurrencedygtige og miljømæssigt bæredygtige teknologier."*

Den formulering skal nok give anledning til debat. Forskerne er mildt sagt uenige om det i det hele taget er fornuftigt at satse på biobrændstoffer, og de som går ind for den grønne olie er langt fra enige om hvilke teknologier, der skal sættes på.

– Det kan være svært at blive klog på, hvad eksperterne mener om den her sag, siger energipolitisk ordfører for Venstre, Lars Chr. Lilleholt.

– Vi har for nylig fået en rapport fra Institut for Miljøvurdering, der konkluderer, at biobrændstoffer ikke giver meget miljø for pengene. Derefter kom Akademiet for de Tekniske Videnskaber med en rapport, der sagde, at der er store perspektiver i området – især hvis vi sætter på 2. generationsteknologier. Sidst har Niras så offentliggjort en undersøgelse, der viser, at der stort set ikke er nogen forskel på miljøregnskab i 2. generationsteknologierne og de anlæg, vi kender i dag.

– Det kunne være rart, hvis eksperterne ville sætte sig ned og blive enige om, hvad der er op og ned i den her sag, siger Lars Chr. Lilleholt. Han har per-

- ▶ sonligt været en varm fortaler for biobrændstoffer, og har blandt andet foreslået, at den grønne olie skal dække to procent af transportsektorens energibehov allerede i 2007.

### 1. eller 2. generation

Såvel den nuværende som tidligere regeringer har et langt stykke hen ad vejen været meget skeptiske over for biobrændstoffer. Argumentet har gang på gang været, at det giver for lidt miljø for pengene, og det er mere effektivt at bruge biobrændsler til produktion af el og varme. Det er blandt andet det svar, VK-regeringen har givet EU-kommissionen, som begrundelse for hvorfor Danmark ikke har villet leve op til kommissionens målsætninger på området.

Regeringen har hidtil holdt fast ved, at det er 2. generationsteknologien, der er værd at satse på. Her er råvarerne affald samt restprodukter fra landbruget, og det anser såvel miljøministeren som energiministeren for at være langt mere perspektivrigt end brændstof, der er produceret på basis af traditionelle landbrugsafgrøder som majs, korn og sukkerroer.

På det punkt lægger regeringen helt på linie med EU-topmødets anbefaling fra marts 2006, ligesom man følger anbefalingerne i Energistyrelsens Strategi for forskning og udvikling af biobrændstoffer, der blev offentliggjort i juni 2005.

### Regeringen under pres

Regeringen er imidlertid under hårdt pres for at få biomasse ind i transportsektoren her og nu, og det er ikke kun landbruget og forskellige interesseorganisationer, der presser på. Kravet om at få sat gang i anvendelsen af den grønne olie rækker langt ind i regeringens egne rækker, og flere eksperter sætter i dag spørgsmålstegn ved, om der overhovedet er nogen grund til at vente på 2. generationsteknologien.

Få dage før regeringen offentliggjorde sin energiplan kom Teknologirådet således med en rapport, der fraråder regeringen at droppe den nuværende teknologi. Rapporten slår fast, at Danmarks sagtens kan leve op til EU's målsætning om at 5,75 procent af transportsektorens energiforbrug skal komme fra vedvarende



foto: torben skøtt/biopress

*På Skærbækværket ved Fredericia er DONG Energy langt fremme med udvikling af en teknologi, der gør det muligt at udvinde ethanol af halm og bruge restproduktet som brændsel.*

energi. For dieseloliens vedkommende kan det ske ved at bruge animalsk fedt suppleret med den danske produktion af biodiesel, som er baseret på rapsolie, men som i dag udelukkende går til eksport. Tilsvarende vil man kunne erstatte 5,75 procent af benzinforbruget med ethanol ved at dyrke roer på 1,5 procent af landbrugsarealet. Vælger man i stedet at bruge korn, vil det lægge beslag på

tre procent af landbrugsarealer, svarende til 86.000 hektar.

Som afslutning på rapporten har Teknologirådet spurgt ti centrale aktører, om de foretrækker en entydig satsning på 2. generationsteknologien, eller om man også bør støtte 1. generationsanlæggene. Til det svarer otte aktører, at man skal i gang med den teknologi, vi har til rådighed i dag. Kun Institut for Miljøvurdering og Danmarks Tekniske Universitet mener, man skal vente til 2. generationsanlæggene er klar til kommerciel drift.

### Nye rapporter

CO<sub>2</sub> reduktionsomkostninger ved biodiesel, Institut for Miljøvurdering, [www.imv.dk](http://www.imv.dk).

Visioner for dansk bioethanol, Akademiet for de Tekniske Virksomheder, [www.atv.dk](http://www.atv.dk).

Produktion af bioethanol i Danmark – energiudbytter og CO<sub>2</sub> fortrængning med forskellige teknologier, Niras, [www.niras.dk](http://www.niras.dk).

Morgendagens transportbrændstoffer – danske perspektiver, Teknologirådet, [www.tekno.dk](http://www.tekno.dk).

### Mest energi fra 1. generation

I en anden rapport fra den rådgivende ingeniørvirksomhed Niras peger eksperterne på, at man hverken opnår en større CO<sub>2</sub>-fortrængning eller et højere energiudbytte ved at satse på de fremtidige anlægstyper. Tværtimod viser beregningerne, at energiudbyttet er lidt lavere for 2. generationsanlæggene, mens CO<sub>2</sub>-fortrængningen er nogenlunde ens for de to teknologier.

Det kan umiddelbart virke overraskende, men ifølge civilingeniør Anne Seth Madsen fra Niras hænger det

sammen med, at det kræver mere energi at producere ethanol på basis af restprodukter som halm end at bruge landbrugsafgrøder som korn og majs. Derfor vil det samlede energiudbytte typisk være lavere, men til gengæld kan der produceres mere ethanol per hektar.

Ved 1. generationsanlæggene bliver korn omdannet til ethanol via en forholdsvis simpel gærproces. For hver hektar med korn kan der produceres 2.800 liter ethanol, svarende til godt 16 MWh, men derudover kan halmen anvendes til fremstilling af el og varme, ligesom restproduktet fra ethanolproduktionen kan anvendes til foder. Derved kommer det samlede energiudbytte op på godt 24 MWh.

Ved 2. generationsanlæggene bliver der produceret knap 4.000 liter ethanol per hektar, men til gengæld falder produktionen af el, varme og foder, så det samlede energiudbytte typisk kommer ned på under 20 MWh per hektar. CO<sub>2</sub>-fortrængningen er på cirka 6 tons per hektar eller nogenlunde det samme som for 1. generationsanlæggene.

Ud over at sammenligne forskellige 1. og 2. generationsteknologier har folkene fra Niras regnet på, hvilken effekt det har, hvis man i stedet vælger at bruge hele planten – altså både korn og halm – i et kraftvarmeværk. Det giver et energiudbytte på over 35MWh og en CO<sub>2</sub>-fortrængning på over 7 tons per hektar. Kraftvarme er således langt at foretrække, hvis det handler om at få det største energiudbytte og den højeste CO<sub>2</sub>-fortrængning per hektar.

### Debat

Rapporter om biobrændstofferne giver ofte anledning til debat, og på det punkt har undersøgelsen fra Niras ikke været nogen undtagelse. Få dage efter offentliggørelsen kunne Ingeniøren bringe et interview med professor Claus Felby fra Københavns Universitet, der blandt andet gjorde opmærksom på, at Niras ikke har medtaget C5-melasse i regnestykket for 2. generationsteknologien. Det vil give en yderligere CO<sub>2</sub>-reduktion på 0,8 tons, og dermed vil de to teknologier stå nogenlunde lige, hvad angår fortrængning af drivhusgasser.



foto: torben skjøtt/biopress

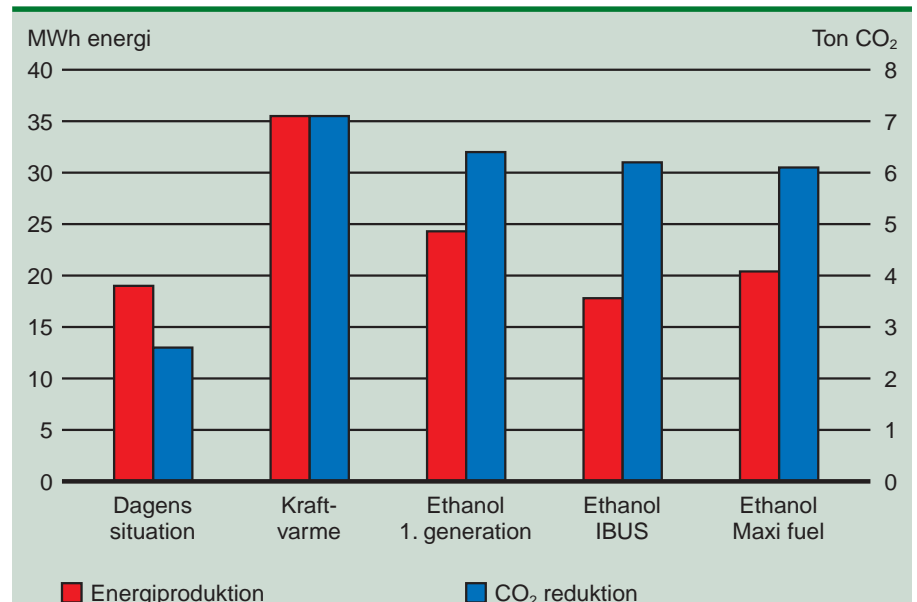
*Kraftvarme er den mest effektive måde at udnytte biomassen på, hvis det drejer sig om at få den største energiproduktion og den højeste CO<sub>2</sub>-fortrængning.*

– Men det forhold har vi gjort opmærksom på, siger Anne Seth Madsen fra Niras. Hun forklarer den manglende inddragelse af C5-melasse med, at det er usikkert, hvordan det bedst kan udnyttes i praksis.

En af de skarpeste kritikere af biobrændstoffer, lektor Henrik Wenzel fra Danmarks Tekniske Universitet, kommenterer ligeledes undersøgelsen fra Niras i Ingeniøren. Han lægger blandt andet vægt på, at undersøgelsen ikke tager højde for de nye mulig-

heder for at bruge brint og gas i transportsektoren, men hæfter sig primært ved, at kraftvarme giver den bedste energiøkonomi og den største CO<sub>2</sub>-fortrængning.

Og på det punkt ser det faktisk ud til, at forskerne er ved at være enige. Ligesom de færreste i dag betvivler, at drivhuseffekten er et faktum, er der stort set ingen eksperter, der stiller spørgsmålstegn ved, at kraftvarme er den mest effektive måde at udnytte biomassen på. ■



*Figur 1. Energiproduktion og reduktion af drivhusgasser ved anvendelse af korn og halm fra en hektar, svarende til 7 tons kerner og 4 tons halm. Ved dagens situation anvendes kornet som foder, mens kun en del af halmen bliver anvendt til produktion af el og varme. IBUS og Maxi fuels repræsenterer to forskellige metoder til at producere ethanol ved hjælp af den såkaldte 2. generationsteknologi. Kilde: [www.niras.dk](http://www.niras.dk).*

Kløvergræs er en af de mest miljøvenlige afgrøder, der findes. Den kan optage kvælstof fra luften, kræver hverken gødning eller pesticider, og så har den et meget omfattende rodnet, der kan fungere som CO<sub>2</sub>-lager.

foto: torben skøtt/biopress



## Lad bilerne køre på græs

Græs kan forbedre miljøregnskab for biobrændstoffer markant, viser amerikanske forsøg. Bruger man naturlige græsarter får man fem gange så meget energi tilbage, som der bliver brugt til dyrning af afgrøderne og fremstilling af brændstoffet, mens man kun får halvanden gange så meget energi tilbage, hvis produktionen af bioethanol er baseret på majs.

ver kunstgødning og pesticider, der forurener vandmiljøet.

Forskerne har på den baggrund undersøgt, hvad det vil betyde for miljøet, hvis produktionen af biobrændstoffer baseres på mere miljøvenlige afgrøder eller LIHD-afgrøder, som de betegnes i den amerikanske undersøgelse. Det står for **Low Input High Diversity** og omfatter hovedsageligt forskellige vedvarende græsarter. Siden 1994 har man derfor udført en række forsøg med dyrkning af disse

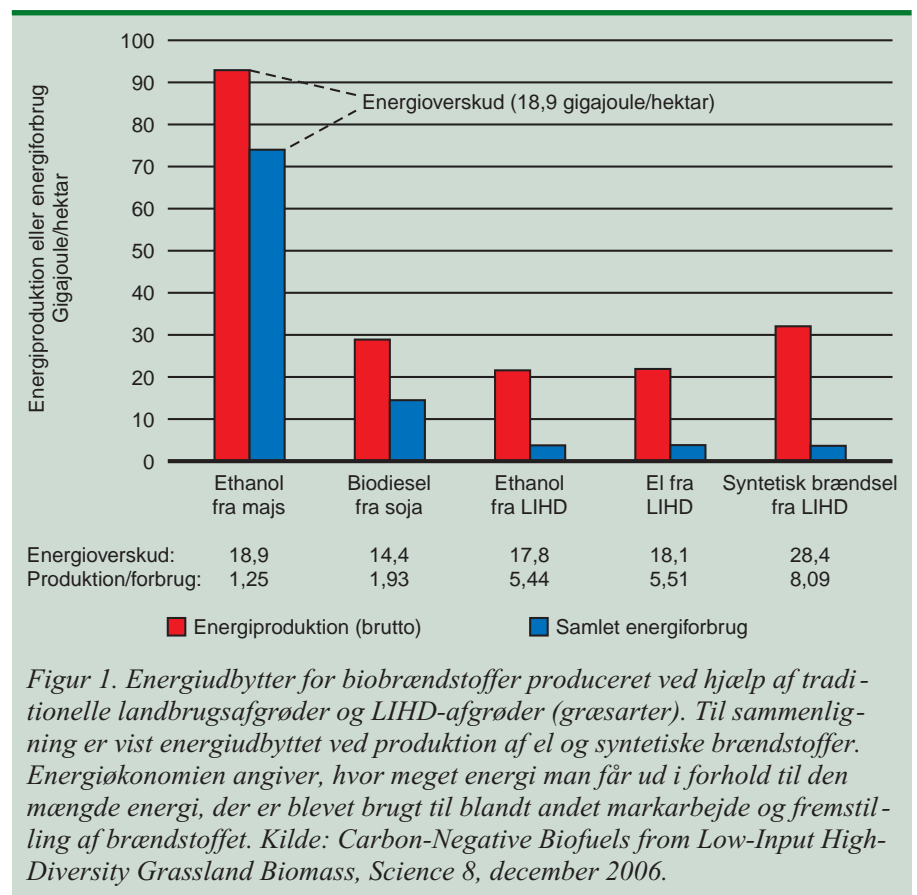
afgrøder, som efterfølgende er blevet høstet og anvendt til produktion af biobrændstoffer.

Som forventet var udbyttet per hektar lavere end for majs og hvede, men energiøkonomien var markant bedre, fordi der blev brugt mindre energi til markarbejde, herunder mindre energi til kunstvanding, gødsning og sprøjtning med pesticider. Samlet set gav de naturlige græsarter således fem gange så meget energi tilbage i form af biobrændstoffer som den energi,

Af Torben Skøtt

I USA er produktionen af bioethanol hovedsagelig baseret på majs, mens biodiesel primært fremstillet ved hjælp af soja. Begge afgrøder giver et højt udbytte per hektar og omdannelsen til biobrændstoffer sker ved hjælp af kendte og billige teknikker. Derfor har majs og soja været et naturligt valgt for producenterne af biobrændstoffer, og den model har passet landbruget fint. Det er afgrøder, som landmændene er vant til at håndtere, og de giver begge et forholdsvis pænt dækningsbidrag per hektar.

Men nu har en gruppe amerikanske forskere sat spørgsmålstegn ved, om den strategi er bæredygtig på sigt. Den stadig stigende efterspørgsel på traditionelle landbrugsafgrøder vil føre til, at store områder bliver inddraget til dyrkning af monokulturer, og det vil alt andet lige gå ud over den mangfoldighed, som præger den frie natur. Dertil kommer, at landbrugsafgrøder som majs og soja kræ-



der blev anvendt til dyrkning og fremstilling af brændstoffet. For majs og soja kom der kun 1,25 og 1,93 gange så meget energi tilbage, som der blev anvendt.

Tilsvarende var reduktionen af drivhusgasser mellem 6 og 16 gange bedre for LIHD-afgrøderne end for majs og soja, og det har fået forskerne til at betegne biobrændstoffer fra LIHD-afgrøder som ikke bare CO<sub>2</sub>-neutrale, men CO<sub>2</sub>-negative.

### Brug græs

Herhjemme er der ikke lavet tilsvarende undersøgelser af, hvordan miljøvenlige afgrøder kan bruges til produktion af biobrændstoffer, men der findes en del materiale om græs som "kraftfoder" til biogasanlæg. Det er et område som biolog Peter Jacob Jørgensen fra den rådgivende virksomhed PlanEnergi har et indgående kendskab til:

– Kløvergræs er en af de mest miljøvenlige afgrøder, der findes. Den kan optage kvælstof fra luften, kræver hverken gødning eller pesticider, og så har den et meget omfattende rodnet, der kan fungere som CO<sub>2</sub>-lager, forklarer Peter Jacob Jørgensen. Han finder resultaterne i den amerikanske undersøgelse interessante, men vurderer, at græs i biogasanlæg vil give en endnu bedre miljøregnskab.

Professor Claus Felby fra Københavns Universitet, der forsker i biobrændstoffer, mener på den anden side ikke, den amerikanske undersøgelse kan bidrage med noget nyt til den danske debat på området.

– Energiudbyttet per hektar er ganske enkelt for lavt til at man kan få danske landmænd til at interessere sig for de afgrøder, siger Claus Felby.

– Det kan godt være, at forskellige græsarter har en fin energibalance, men det er ikke en metode, vi kan bruge, hvis vi skal erstatte 20 procent af transportsektorens energiforbrug med biobrændstoffer. Det, der batter noget i den sammenhæng, er traditionelle landbrugsafgrøder som majs, der er en af de bedste solfangere på vores breddegrader, konkluderer Claus Felby.

*Kilde: Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass, Science 8, december 2006.*

## Den miljøvenlige brændeovn

**Udviklingen af den miljøvenlige brændeovn er rykket et skridt nærmere. Til sommer kan forskere fra Aalborg Universitet præsentere et nyt computerværktøj, der gør det muligt at reducere udslippet af skadelige stoffer fra brændefyring.**

Brændeovne og små kedler er nogle af de helt store syndere, når det drejer sig om udledning af sundhedsskadelige partikler. I følge en undersøgelse fra Danmarks Miljøundersøgelser ligger udslippet af små partikler (PM 2,5) fra brændeovne og små kedler på

643 gram/PJ, mens det tilsvarende tal for et kraftvarmeværk kun er på 1,2 gram/PJ. Forureningen fra de små individuelle anlæg er altså 500 gange større end fra de store kollektive anlæg.

I Danmark har forskerne brugt årtier på at optimere forbrændingen i store kedelanlæg, og det er en af årsagerne til, at vi i dag er i stand til at producere nogle af verdens mest effektive kraftværksanlæg. Selv om erfaringerne ikke umiddelbart kan overføres til brændeovne, har forskerne alligevel kunne drage nytte af de metoder, man har brugt til udvikling af de store anlæg.

– Forbrændingen i en kraftværkskedel er helt anderledes end i en brændeovn, men de metoder man skal bruge for at udvikle computermodeller til design af brændeovne er ikke væsentligt forskellige fra de metoder, vi kender fra kraftværker, forklarer lektor Lasse Rosendahl fra Aalborg Universitet. Sammen med Teknologisk Institut i Århus og to brændeovnsfabrikanter er han tæt på at kunne færdiggøre en computermodel, der nøje beskriver hvordan forbrændingen forløber i den første halve time efter der er tændt op i ovnen.

– Det er den periode, der er mest kritisk, når det drejer sig om udslip af skadelige partikler. Kan fabrikanterne konstruere en ovn, hvor udslippet af partikler er minimalt den første halve time, er vi nået langt, siger Lasse Rosendahl. Han erkender dog, at der formentlig går langt tid, før vi kan registrere et fald i forureningen fra brændefyring:

– Vi skal først have gjort computermodellen færdig, derefter skal fabrikanterne i gang med at designe nye brændeovne, de skal ud på markedet, og så skal vi have lært befolkningen, hvordan man bruger en brændeovn, så den ikke forurener.

En af de store udfordringer for fabrikanterne bliver at konstruere ovne, hvor effekten passer til moderne velisolerede huse. I dag er langt de fleste brændeovne overdimensionerede, og det betyder, at folk skruer ned for tilførslen af luft, men derved skruer de samtidig op for forureningen. TS

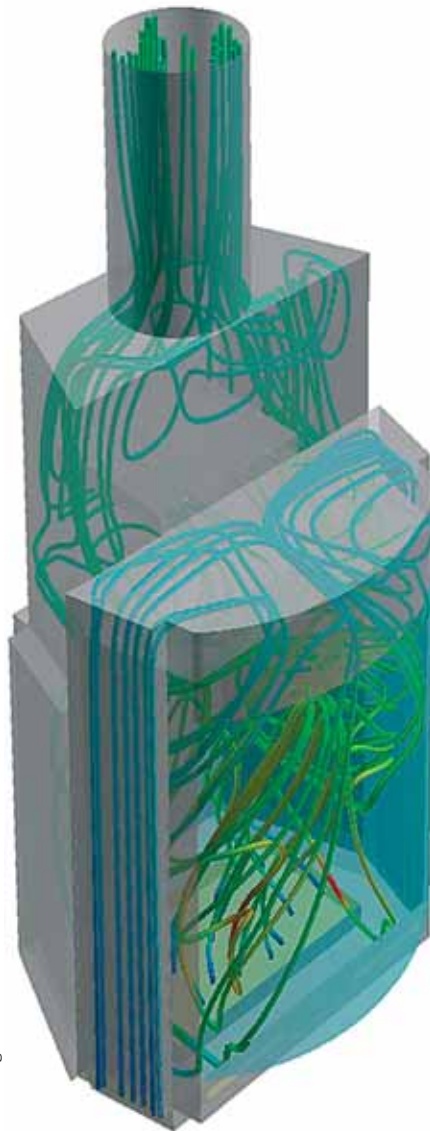


foto: aalborg universitet

*Forskerne er snart klar med en computermodel, der kan bruges til at designe miljøvenlige brændeovne.*

## Biogasanlæg: 20 procent mere el med to reaktorer

Med en forbehandling af biomasse på omkring 70 °C er det muligt at øge elproduktionen fra biogasanlæg med cirka 20 procent, samtidig med at man opnår en langt bedre hygiejniserings af biomassen. Varmeoverskuddet fra anlægget er til gengæld minimalt i vinterhalvåret, så systemet er især velegnet i områder, hvor der er ringe mulighed for at afsætte varmeproduktionen.

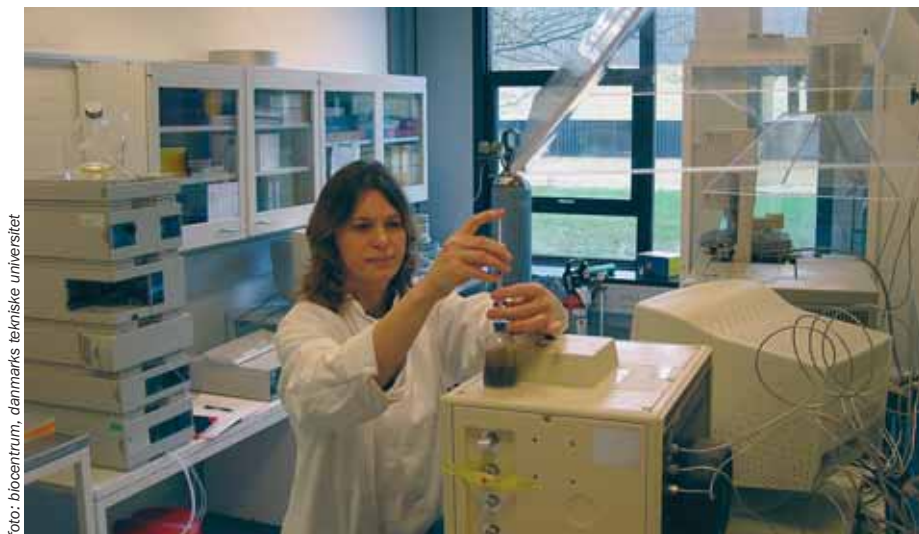


foto: biocentrum, danmarks tekniske universitet

Af Zuzana Mladenovska og Birgitte K. Ahring

Zuzana Mladenovska på laboratoriet på BioCentrum, hvor man blandt andet forsker i processer til fremstilling af biogas og andre former for biobrændstoffer.

Produktion af biogas, baseret på gylle eller slam, er kendetegnet ved en relativ lav omsætning af organisk materiale og dermed et lavt gasudbytte. Det er almindeligt kendt, at gylle og slam har en stor del af biogaspotentialt gemt i fiberfraktionen, der ikke omsættes effektivt i de eksisterende anlæg, og en væsentlig del af det bi nedbrydelige materiale ledes ud af anlægget uden at være omsat.

Hos BioCentrum på Danmarks Tekniske Universitet har vi igennem en længere periode testet forskellige metoder til at forbedre biogasproduktion fra gylle og slam. En af de mest lovende metoder har vist sig at være en forbehandling af biomassen ved en høj temperatur før selve biogasprocessen.

I en biogasreaktor udfører forskellige grupper af mikroorganismer en proces, der nedbryder det organiske materiale gennem flere trin. I en sund og velbalanceret proces bliver det organiske materiale først nedbrudt i mindre komponenter, hvorefter der produceres biogas, uden at der sker en mærkbar ophobning af de såkaldte fede syrer (VFA), som kan hæmme processen.

De bakterier, der blandt andet står for nedbrydning af plantefibre, kan opdeles i to undergrupper. Den ene undergruppe er aktiv ved 50 – 65 °C, mens den anden gruppe trives bedst

ved 60 – 75 °C. Som helhed kan de således virke i et bredt temperaturområde mellem 50 og 75 °C. Derimod er aktiviteten af de VFA nedbrydende bakterier, og hovedparten af de bakterier der producerer biogas, begrænset til et snævert temperaturinterval på 50 – 55 °C.

De fleste biogasanlæg anvender en reaktortemperatur på 50 – 55 °C, og derved er der bakteriegrupper, som ikke bliver inddraget i processen. Hvis det skal lykkes, er det nødvendigt at etablere en særskilt reaktor til forbehandling med en driftstemperatur på omkring 70 °C. Temperaturniveauet i hovedreaktoren må nemlig ikke komme over 60 °C, da det vil resultere i en ufuldstændig omsætning med et kraftigt nedsat biogasudbytte.

### Reaktor forsøg

I laboratoriet på BioCentrum har vi testet en to-trins proces bestående af en forbehandling i to dage ved 73 °C efterfulgt af en biogasproces i 13 dage ved 55 °C. Det system blev testet parallelt med to traditionelle et-trins anlæg, der opererede ved henholdsvis 55 °C i 15 dage og 37 °C i 20 dage.

Biomassen blev tilført til reaktorerne tre gange dagligt, hvilket sikrede en garanteret opholdstid på otte timer. Substratet var en blanding af rå kvæg-

gylle, svinegylle og spildevandsslam, der blev blandet i forholdet 40:40:20. Det organiske tørstofindhold (VS) blev målt til 37 kg/m<sup>3</sup> biomasse, mens det teoretiske biogaspotentialt blev vurderet til 350 liter/kg VS.

De vigtigste resultater fra forsøget er vist i tabel 1. Heraf fremgår det, at biogasudbyttet, og især det specifikke metanudbytte, var lavest i den mesofile reaktor, hvor udbyttet var cirka 30 procent under det teoretiske potentialt på 350 liter metan/kg VS. I den termofile et-trins reaktor var udbyttet lidt bedre, men stadigvæk gik cirka 25 procent af biogaspotentialt tabt.

To-trins reaktoren viste derimod en overraskende god ydeevne, med et udbytte på kun cirka 13 procent under det brugbare potentialt. Alle driftsparametre bekræftede en særdeles effektiv og afbalanceret omsætning med den største reduktion i mængden af organisk materiale og det højeste biogasudbytte. Metanproduktion foregik hovedsageligt i hovedreaktoren, der producerede 99 procent af den totale mængde metan.

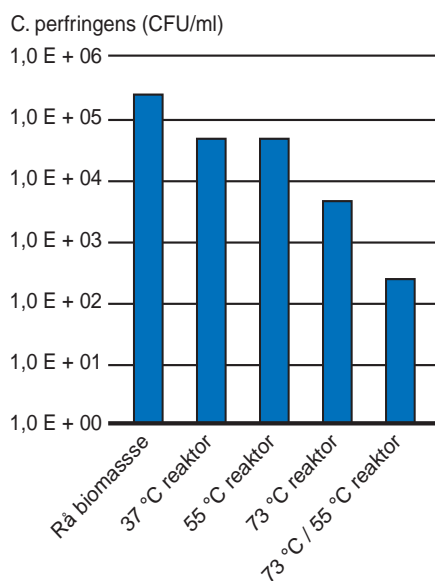
### Hygiejniserings

Hygiejniserings-effekten af de enkelte processer blev vurderet ud fra overlevelse af ekstremt varmebestandige sporer af slægten *Clostridium perfrin-*

Parameter	Enhed	Et-trins anlæg		To-trins anlæg		
Temperatur	Grader C	37	55	73	55	73/55
Organisk belastning	Gram VS/liter reaktor/dag	1,9 ± 0,2	2,6 ± 0,3	16,6 ± 0,4	–	2,3 ± 0,3
Biogas udbytte	Liter/liter biomasse	13 ± 2	14 ± 1	0,7 ± 0,2	16 ± 3	–
Metan	Procent	69 ± 2	68 ± 2	19 ± 2	69 ± 2	–
Specifik metan udbytte	Liter/kg VS	246 ± 36	261 ± 29	4 ± 1	300 ± 45	303 ± 45
VS fjernelse	Procent	42 ± 3	52 ± 1	–	–	59 ± 8
COD fjernelse	Procent	47 ± 7	55 ± 4	–	–	64 ± 6
VFA	Gram Ac/liter	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1	9,6 ± 1,3	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1
Total N	Gram/liter	3,5	3,4	–	3,2	–
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	Gram/liter	2,3	2,2	–	2,1	–

Tabel 1. Resultater fra udrådning af biomasse i henholdsvis et- og to-trins anlæg. Biomassen består af kvæggylle, svine-gylle og spildevandsslam i forholdet 40:40:20. Det organiske tørstofindhold er målt til 37 kg/m<sup>3</sup> biomasse, og biogaspotentialet er vurderet til 350 liter/kg organisk tørstof.

gens efter at biomassen havde opholdt sig i reaktorerne i otte timer (figur 1). I forsøget formåede begge et-trins systemer at reducere antallet af sporer med 0,7 logaritmiske enheder, mens et fald på 1,7 enheder blev opnået i reaktoren ved 73 °C. Ved en kombination af de to reaktorer ved henholdsvis 73 °C og 55 °C blev den totale reduktion bestemt til 3 enheder. Derved blev antallet af levedygtige sporer bragt ned fra en koncentration på over 200.000 sporer/milliliter biomasse til et par hundrede sporer per milliliter udrådnings biomasse.



Figur 1. Antallet af levedygtige sporer af *Clostridium perfringens* i rå biomasse og efter otte timers opholdstid i de undersøgte reaktorer.

### Energibalace

Udvidelse af de eksisterende et-trins systemer til to-trins anlæg vil være forbundet med ekstra omkostninger til drift og ikke mindst opvarmning. Vi har i den forbindelse udført en række beregninger for følgende anlæg:

- Et-trins anlæg med en 3.600 m<sup>3</sup> stor reaktor, der opvarmes til 37 °C.
- Et-trins anlæg med en 3.000 m<sup>3</sup> stor reaktor, der opvarmes til 55 °C.
- To-trins anlæg med forbehandling i en 400 m<sup>3</sup> reaktor ved 73 °C og afgasning i en 2.600 m<sup>3</sup> reaktor ved 55 °C.

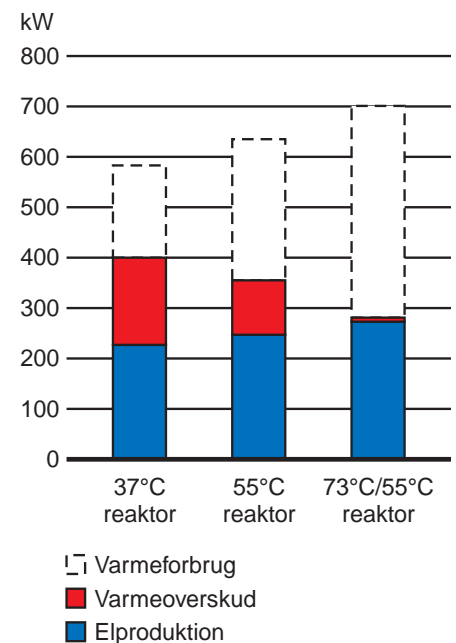
Alle anlæg er udstyret med en varmeveksler til genvinding af varme fra den afgassede biomasse, men derudover har to-trins anlægget en ekstra varmeveksler monteret mellem de to reaktortanke.

I kraft af den øgede gasproduktion er såvel elproduktionen som varmeproduktionen fra to-trins systemet cirka 20 procent højere end for den mesofile reaktor. To-trins anlægget har til gengæld et varmeforbrug, der er over dobbelt så stort som for den mesofile reaktor. Varmeproduktionen fra motor-generatoranlægget er dog tilstrækkelig til at kunne dække varmebehovet, selv i januar måned, men der er stort set ikke noget overskud, som kan leveres ud på fjernvarmenettet. To-trins systemet er således især velegnet i områder, hvor der er ringe muligheder for at afsætte varmeproduktionen.

Studiet af de forskellige biogassystemer er finansieret af Forskningsrådet for Teknologi og Produktion som en del af Rammeprogrammet "Optimering af biogasprocesser", grant no. 26-01-0119.

Zuzana Mladenovska er lektor på Bio-Centrum, Danmarks Tekniske Universitet, e-mail: zm@biocentrum.dtu.dk.

Birgitte K. Ahring er professor på Bio-Centrum, Danmarks Tekniske Universitet, e-mail: bka@biocentrum.dtu.dk.



Figur 2. Energiproduktion og varmeforbrug i de undersøgte reaktorer i januar måned.

# Tjærefri forgasning i stor skala

Forskere på Danmarks Tekniske Universitet har i flere år været kendt for at kunne lave forgasningsanlæg i mindre skala, der kan producere en ren og tjærefri gas. Nu er konceptet blevet videreudviklet, så teknikken også kan bruges til meget store anlæg.

*Af Jens Dall Bentzen*

På Institut for Energi, Mekanik og Konstruktion på Danmarks Tekniske Universitet har forskerne gennem en årrække arbejdet med udvikling af en forgasningsteknologi, hvor biomasse omdannes til brændbar gas gennem en proces, der er opdelt i flere adskilte trin.

Processen er dokumenteret i mindre skala i Viking-forgasseren, der er opstillet på Danmarks Tekniske Universitet. Anlægget har vist meget positive resultater med hensyn til at kunne producere en brændbar gas, der på grund af et lavt indhold af tjærestoffer og partikler, er velegnet til drift af gasmotorer. Ved at koble motoren til en elgenerator får man et lille kraftvarmeværk, der er kendetegnet ved en høj elvirkningsgrad og en lav miljøbelastning.

I Viking-forgasseren er processen opdelt i to hovedtrin: pyrolyse og koks-forgasning. I det første trin føres biomassen ind i en pyrolysereaktor, hvor vandet fordamper, og biomassen omdannes til koks og tjæreholdigt gas. Næste trin er en reaktor, hvor tjærestofferne bliver nedbrudt og koksen omsættes til gas. Til sidst bliver gassen kølet ned ved hjælp af en varmeveksler, og sodpartiklerne bliver opsamlet i et almindeligt posefilter.

## Også til store anlæg

Viking-forgasseren har repræsenteret et gennembrud inden for forgasningsteknologien, men anlægget har sine begrænsninger. Konceptet kan være vanskeligt at opskalere, blandt andet fordi opvarmning af pyrolysereakto-

ren foregår ved hjælp af røggas fra en gasmotor.

Forskerne på Danmarks Tekniske Universitet har derfor samarbejdet med den rådgivende virksomhed COWI om at få udviklet flertrinsprocessen yderligere, så det bliver muligt at bygge meget store anlæg. Det nye koncept har fået navnet LT-BIG, som står for **L**ow **T**ar **B**iomass **I**ntegrated **G**asification. Her er der tale om en teknologi, der er nem at opskalere, men hvor man samtidig har holdt fast i de tekniske fordele, som gør tottrinsprocessen bedre end andre forgasningsprincipper.

## Princippet

I det nye anlæg er forgasning af biomassen blevet opdelt i ikke bare to, men hele tre kamre, hvilket giver bedre mulighed for at styre processen.

Før biomassen bliver tilført anlægget, bliver det tørret ved hjælp af damp, så anlægget kan dimensioneres til kun at behandle brændsel med et bestemt vandindhold. I den oprindelige Viking-forgasser foregik tørringen i selve forgasningsanlægget, og det kunne være problematisk, hvis der var store variationer i brændslets vandindhold.

Første trin i det nye anlæg er en pyrolysereaktor, hvor biomassen opvarmes til 450 °C ved hjælp af damp. Da der ikke er ilt til stede bryder biomassen ikke i brand, men omdannes i stedet til tjæreholdig gas og koks. Sidstnævnte ledes direkte til forgasningsreaktoren, hvor den omsættes til gas ved tilsætning af luft, mens den tjæreholdige gas føres til iltkammeret. Her tilsættes der tilstrækkeligt med ilt, til at hovedparten af tjærestofferne nedbrydes, men for lidt ilt til at gas-

## Sådan fungerer forgasseren

Tørt brændsel føres ind i pyrolysereaktoren, hvor det varmes op til cirka 450 °C ved hjælp af damp. Da der ikke er ilt til stede bryder biomassen ikke i brand, men omdannes i stedet til tjæreholdig gas og koks. Sidstnævnte ledes direkte til forgasningsreaktoren, hvor den omsættes til gas ved tilsætning af begrænsede mængder luft, mens den tjæreholdige gas føres op til iltkammeret. Her

tilsættes der tilstrækkeligt med ilt til, at hovedparten af tjærestofferne nedbrydes, men for lidt ilt til at gassen antændes. Såvel gas, som de tjærerester der er tilbage, ledes herefter til forgasningsreaktoren, hvor der sker en yderligere reduktion af tjæreindholdet, når gassen blandes med koksfraktionen. Til sidst strømmer gassen op i svævet, hvor den sidste rest af tjære nedbrydes.

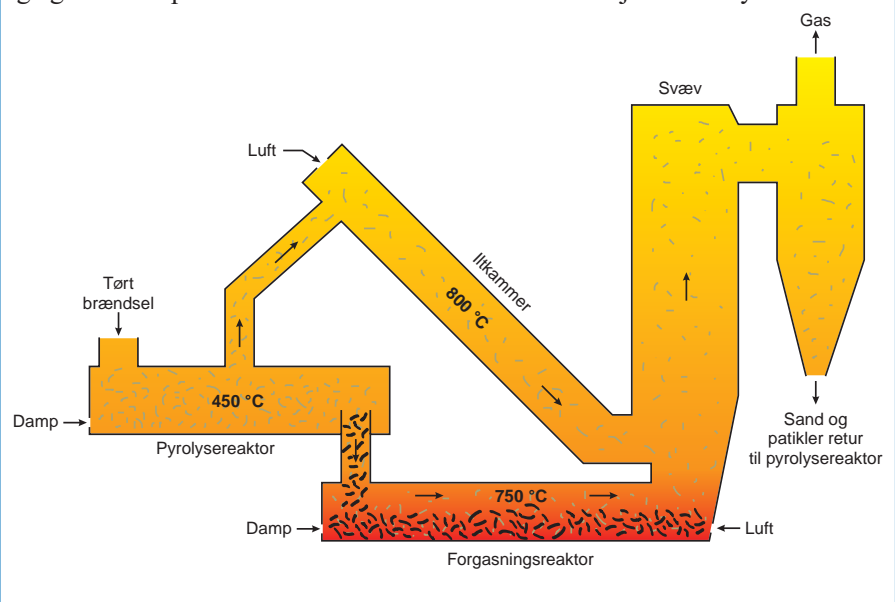




foto: jens dall bentzen/cowi

*Til venstre: Laboratiemodellen af forgasningsanlægget på Danmarks Tekniske Universitet. Næste fase i projektet bliver opførelse af et pilot-anlæg hos en anlægsvært.*

*Til højre: Afprøvning af laboratiemodellen på Danmarks Tekniske Universitet. I første omgang blev gassen brændt af i en fakkel. Senere skal der udføres forsøg med at bruge gassen i en motor, som er koblet til en elgenerator.*



foto: jens dall bentzen/cowi

sen antændes. Såvel gas, som de tjære-rester der er tilbage, ledes herefter til forgasningsreaktoren, hvor der sker en yderligere reduktion af tjæreindholdet, når gassen blandes med koksfraktionen.

Gassen fra forgasningsreaktoren bliver herefter rensed i et posefilter og eventuelt et aktivt kulfilter, før den anvendes som brændstof i en gasmotor, der er koblet til en elgenerator.

Det nye anlæg er baseret på den såkaldte fluid bed teknologi, der er kendt fra store kraftværksanlæg. Princippet går ud på, at et porøst materiale som sand føres med rundt i anlægget, så man på den måde hurtigt kan få varmet biomassen op, og samtidig sikre en korrekt temperatur i de forskellige trin anlægget er delt op i.

### Laboratiemodell

På Danmarks Tekniske Universitet har man opbygget en laboratiemodell på 100 kW af det nye forgasningsanlæg, og man har udført en række forsøg, der viser, at processen er stabil og at anlægget er i stand til at producere gas med et meget lavt tjæreindhold.

Samtidig med de praktiske forsøg er der udført en række modelberegninger, hvor virkningsgraderne for forskellige energisystemer er blevet beregnet. Heraf fremgår det, at det er muligt at opnå elvirkningsgrader på helt op til 40 procent, selv ved forholdsvis simple anlæg. Ved mere avancerede anlæg vil det være muligt at få elvirkningsgraden op på omkring 45 procent.

På baggrund af resultaterne fra projektet er der nu planer om at etablere et pilotanlæg hos en anlægsvært. I første omgang satses der på at bruge brændelsespiller, fremstillet af biomasse, men der vil være mulighed for at lave forsøg med flere forskellige typer brændsler.

*Projektet om LT-BIG forgasseren er udført i samarbejde mellem COWI A/S, Institut for Energi, Mekanik og*

*Konstruktion på Danmarks Tekniske Universitet samt Babcock & Wilcox Vølund. Projektet har modtaget støtte fra PSO-midlerne, der i dag administreres af Energinet.dk.*

*Jens Dall Bentzen er ingeniør og ansat hos COWI, e-mail: jdb@cowi.dk. Yderligere oplysninger om anlægget kan fås ved henvendelse til Jens Dall Bentzen eller Reto M. Hummelshøj, rmh@cowi.dk.*

## Forgasning – en ufuldstændig forbrænding

Når biomasse som træ varmes op, omdannes det i første omgang til tjæreholdige gasser og koks. Tilsættes derefter ilt, som det for eksempel sker i en brændeovn, afbrændes såvel gasserne som koksen. Restproduktet består af aske og partikler, som forsvinder op gennem skorstenen.

I et forgasningsanlæg begrænser man tilførslen af ilt, så gasserne i første omgang ikke brændes af, men kan udnyttes i for eksempel et motoranlæg. Opvarmningen af biomassen sker normalt ved at man afbrænder en mindre del af biomassen.

Ved en temperatur på omkring 200 °C starter den såkaldte pyrolyse, hvor biomassen omdannes til tjæreholdigt gas og en fast rest af kulstof (koks). Koksen kan efterfølgende omdannes til gas ved at tilsætte begrænsede mængder luft, ligesom hovedparten af tjærestoffer-

ne fra pyrolysen kan omdannes til gas ved at tilsætte begrænsede mængder luft.

Forgasningsanlæg har været anvendt i over 100 år, så der er på mange måder tale om kendt teknologi. Under anden verdenskrig blev en del biler udstyret med små forgasningsanlæg, der brugte tørrede bøgekudser på størrelse med tobaksdåser. Det gav en forholdsvis ren gas, men det er et brændsel, som kun kan skaffes i meget begrænsede mængder.

Forskningen inden for forgasningsanlæg sigter mod at konstruere anlæg, der kan producere en ren gas ved anvendelse af mange forskellige typer biomasse. Våd skovflis, halm og affald er nogle af de brændsler, der findes i betydelige mængder, men det er samtidig brændsler, som er vanskelige at forgasse.

## *Halmfyrede fjernvarmeværker:* Rens røgen og spar på halmen

En ny type skrubberanlæg kan rense røgen effektivt fra halmfyrede fjernvarmeværker og øge virkningsgraden på kedlen med cirka 10 procent. I Øster Toreby på Lolland har det betydet en besparelse på godt 320.000 kroner om året til indkøb af brændsel, og derudover er der en besparelse på cirka 50.000 kroner til svovlafgift.

*Af Jens Dall Bentzen*

Omkring 60 fjernvarmeværker i Danmark bruger i dag halm som det primære brændsel. Virkningsgraden for disse anlæg ligger typisk på 85 – 90 procent, hvilket er cirka 10 procent lavere end for flisfyrede værker, hvor man er bedre i stand til at udnytte energiindholdet i røggassen.

Biomasse har et vandindhold, der varierer mellem 10 – 20 procent for halm og 40 – 50 procent for skovflis. Når biomassen brændes af i fjernvarmekedler, omsættes vandindholdet til damp, og hvis ikke energien i disse dampe udnyttes, vil betydelige mængder energi gå tabt op gennem skorstenen. Derfor har mange anlæg installeret anlæg til røggaskondensering, hvor røgen køles ned under dugpunktet. Herved begynder vanddampene at kondensere, og varmen vil blive frigivet til kondensvandet, så det efterfølgende kan udnyttes i fjernvarmenettet.

I dag har stort set alle flisfyrede fjernvarmeværker røggaskondensering, da det er en forholdsvis enkel teknologi, som giver en markant forbedring af driftsøkonomien. I teorien vil det også kunne lade sig gøre at installere røggaskondensering på de halmfyrede værker, men i praksis har det vist sig at volde en del vanskeligheder. De gange det har været forsøgt, er der typisk opstået problemer med tæring, og anlæggene har ikke altid været i stand til at opfylde gældende miljøkrav.



foto: jens dall bentzen/cowi

*Fjernvarmeværket i Øster Toreby, hvor man i dag har installeret røggaskondensering på den største af værkets to halmkedler.*

### **Hals Fjernvarme**

Et af de mest succesfulde projekter med røggaskondensering på et halmfyret fjernvarmeværk er et anlæg hos Hals Fjernvarme øst for Aalborg. Her bliver røggasserne først ledt igennem en multicyclon, som sorterer de groveste urenheder fra, hvorefter røgen føres ind i et såkaldt skrubbertårn. Det fungerer i princippet som en stor brusekabine, der vasker røgen ren, samtidig med at energien i røggassen bliver overført til vaskevandet og derfra videre til fjernvarmevandet.

Systemet fra Hals Fjernvarme kan dog ikke umiddelbart overføres til de øvrige halmfyrede varmeværker i landet. Indholdet af partikler i røggassen er nemlig højere end det tilladte ifølge Miljøstyrelsens luftvejledning, og derfor har det været nødvendigt for varmeværket at få en dispensation for at kunne bruge anlægget. Det har man opnået under henvisning til, at en stor del af partiklerne består af uskadelige salte, men det er usikkert om andre værker vil kunne få en lignende dispensation.

# EUDP skal afløse EFP

## Nyt forskningsprogram med vægt på demonstrationsprojekter skal afløse det gamle Energiforskningsprogram.

Verden er fuld af forkortelser og på det punkt er energiforskning bestemt ikke nogen undtagelse. Som opfølgning på regeringens nye energiplan skal EFP erstattes med EUDP eller som det mere korrekt hedder: Energiforskningsprogrammet (EFP) skal afløses af et nyt Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP).

Den vigtigste opgave for det nye program bliver at lette kløften mellem forskning og demonstration. Det skal være lettere at få omsat lovende forskningsresultater til kommerciel anvendelse, og dermed får det nye program

visse lighedspunkter med det gamle UVE-program, der blev nedlagt i 2002.

I februar blev et lovforslag om det nye EUDP-program sendt i høring, og forslaget indgår for tiden i de energipolitiske forhandlinger, der foregår mellem transport og energiministeren og Folketingets energipolitiske ordførere.

I lovforslaget lægges der op til at give EUDP en central rolle med egen uafhængig bestyrelse. Ministeren udnævner bestyrelsens syv medlemmer ud fra deres personlige kompetencer. Formanden skal have en erhvervs-mæssig baggrund. Bestyrelsen støttes af et selvstændigt sekretariat, der placeres i Energistyrelsen.

Ifølge kontorchef Hans Jürgen Stehr i Energistyrelsen skal EUDP som hovedregel yde tilskud til etable-

ring af pilotanlæg og gennemførelse af demonstrationsprojekter, men programmet kan også støtte egentlige forskningsaktiviteter.

I tilknytning til programmet vil der blive etableret et sekretariat, som blandt andet får til opgave at inspirere offentlige og private virksomheder til at samarbejde og etablere konkrete projektkonsortier. Sekretariatet skal samtidig være med til at udvikle strategier for forskningsarbejdet og pege på de områder, hvor en særlig dansk indsats kan gøre nye og miljøvenlige energiteknologier mere omkostnings-effektive.

I forbindelse med etablering af det nye EUDP-program vil det Rådgivende Energiforskningsudvalg (REFU) blive nedlagt inden udgangen af 2007.

TS

## ► Øster Toreby

På Øster Toreby Varmeværk på Lolland skulle man i 2004 have installeret et nyt anlæg til røggasrensning, men i stedet for at købe to nye posefiltere til de to halmkedler, besluttede man sig for at installere et kondensationsanlæg til den største af de to halmkedler.

Anlægget er baseret på erfaringerne fra fjernvarmeverket i Hals med et skrubbertårn, men på to væsentlige punkter er der tale om et nyt koncept: Før skrubberen er der monteret et posefilter, der fjerner salte fra røggassen, og derudover er der installeret et anlæg, som neutraliserer vandet i skrubberen. Derved undgår man at rense skrubbevandet og man får fjernet indholdet af salt- og svovlsyre i røggassen.

I efteråret 2006 blev der gennemført et måleprogram på anlægget, som dokumenterede, at det lever op til forventningerne. Røgen renses effektivt for partikler, saltsyre og svovlsyre, og kondensatet fra skrubberen er rent og neutraliseret.

Sidst men ikke mindst er virkningsgraden for halmkedlen øget med cirka ti procent, og dermed kan værket se frem til at spare godt 320.000 kroner til brændsel om året.



foto: Jens Dall Bentzen/COWI

## Perspektiver

Erfaringerne fra varmeverket i Øster Toreby har vist, at det er muligt at installere anlæg til røggaskondensering på halmfyrede varmeverker, som kan sikre en effektiv rensning af røgen og samtidig øge virkningsgraden med cirka ti procent.

En forudsætning for at installere den type anlæg er imidlertid, at returtemperaturen på fjernvarmevandet er lav. I Øster Toreby er temperaturen helt nede på 38 °C, og derved har det været muligt, at køle røggassen ned til omkring 43 °C. Er temperaturen på returvandet mellem 40 °C og 50 °C vil det normalt være nødvendigt at installere et anlæg til opfugtning af for-

*Driftslederen på Øster Toreby Varmeværk med en prøve af vandet fra skrubbertårnet. I forbindelse med måleprogrammet blev der løbende sendt prøver til Eurofins, der er en del af den internationale laboratoriegroupe Eurofins Scientific.*

brændingsluften for at kunne installere et anlæg som det i Øster Toreby.

Udover besparelsen til indkøb af brændsel er det muligt, at anlægget kan spare en udgift til svovlafgift på 150.000 kroner om året. Det er dog fortsat uafklaret om det også vil kunne lade sig gøre i praksis. Myndighederne kræver nemlig, at der installeres udstyr, som løbende kan registrere svovlindholdet i røgen, og det kan gå hen og blive en betydelig udgift for varmeverket.

*Projektet med røggaskondensering i Øster Toreby er støttet af Dansk Fjernvarme og Energiforskningsprogrammet, der administreres af Energistyrelsen.*

*Jens Dall Bentzen er ingeniør og ansat hos COWI, e-mail: jdb@cowi.dk.*

**FIB** – Forskning i Bioenergi udgives med støtte fra Energiforskningsprogrammet, der administreres af Energistyrelsen. Nyhedsbrevet, der er gratis, udkommer seks gange om året i en dansk og en engelsk udgave. Begge udgaver kan downloades fra Internettet på adressen [www.biopress.dk](http://www.biopress.dk)

**Den danske version** af nyhedsbrevet findes endvidere i en trykt version, der kan rekvireres hos BioPress, telefon 8617 8507, e-mail [biopress@biopress.dk](mailto:biopress@biopress.dk).

**Ansvarshavende redaktør:**  
Journalist Torben Skøtt

**ISSN:** 1604-6331

**Produktion:**

BioPress  
Vestre Skovvej 8  
8240 Risskov  
Telefon 8617 8507  
E-mail: [biopress@biopress.dk](mailto:biopress@biopress.dk)  
Hjemmeside: [www.biopress.dk](http://www.biopress.dk)

**Forsidefoto:**

BioCentrum/DTU, Torben Skøtt/  
BioPress og Jens Dall Bentzen/  
COWI.

**Oplag:** 4.000 stk.

**Tryk:**

CS Grafisk. Bladet er trykt på svanemærket offset papir.

**Gengivelse** af artikler og illustrationer må kun ske efter aftale med BioPress. Citater fra artikler må gerne bruges med tydelig kildeangivelse.

**Næste nummer:**

– udkommer medio april 2007.  
Deadline for redaktionelt stof er den 15. marts 2007.

## Biogas og naturgas til transport



foto: torben skøtt/biopress

**Naturgas og biogas er et oplagt brændsel til transportsektoren. Det har svenskerne allerede fundet ud af, og de forventer at biogas vil dække halvanden procent af transportsektorens energibehov i 2010.**

Svenskerne satser massivt på, at bio-brændstofferne skal dække en væsentlig del af transportsektorens energibehov, og senest i år 2010 skal alle tankstationer kunne tilbyde kunderne enten bioethanol eller fordonsgas, der er en fælles betegnelse for naturgas og biogas. Over 8.000 biler kører i dag på fordonsgas og flere trafikkselskaber satser på, at gas skal være det foretrukne brændstof til busser inden for de næste 5 – 10 år.

I Danmark har vi en enkelt bybus i København, der forsøgsvis kører på naturgas, og vi har ikke på noget tidspunkt haft overvejelser om at sælge biogas på tankstationerne. Derfor var der heller ikke mange danske indlæg på et seminar om biogas i trafikken, som Biogasforum afholdt på Danmarks Tekniske Universitet den 1. februar.

Umiddelbart kan der ellers være flere gode argumenter for at bruge biogas i biler og busser. Ifølge Bruno Sander Nielsen fra Brancheforeningen

for Biogas har vi tilstrækkeligt med husdyrgødning i Danmark til at producere 40 PJ biogas om året, men i dag udnytter vi kun cirka 4 PJ. De resterende 36 PJ vil kunne dække 20 – 25 procent af energiforbruget i transportsektoren, og omkostningerne ved på den måde at reducere udslippet af drivhusgasser vil beløbe sig til 200 – 400 kroner/ton CO<sub>2</sub>. Det er markant billigere end for flydende biobrændstoffer, hvor reduktionsomkostningerne typisk ligger på omkring 1.000 kroner/ton CO<sub>2</sub>.

Men det er formentlig endnu bedre at bruge biogassen i decentrale kraftvarmeværker, som det sker i dag. Her kan biogassen erstatte naturgas direkte, hvorimod den først skal renses for kuldioxid, hvis den skal bruges til transport.

Og det er ikke nogen billig løsning. Erfaringerne fra Sverige viser, at anlæg til rensning af biogas typisk koster det samme at opføre som selve biogasanlægget. I Danmark er det derfor oplagt at bruge biogas til kraftvarme og naturgas til transport.

I Sverige er situationen en anden. Her er naturgasfyrede kraftvarmeværker et forholdsvist ukendt begreb, så i mange tilfælde er afsætning til transportsektoren den eneste mulighed. *TS*