



## Drys bagepulver i biogassen



Brint og biomasse er nøglen til det fossilfrie samfund



Brændselsceller kan opgradere biogas



Banebrydende bioethanol



3. Nu skal brændselscellerne ud på markedet
5. Brændselsceller kan opgradere biogas
6. Brint og biomasse er nøglen til det fossilfrie samfund
8. Banebrydende bioethanol
10. Statoil vil have tang i tanken
10. Statoil har modtaget første sending halmethanol
11. Tang kan rense havet for næringsstoffer
12. Naturlig tørring af brænde
14. Kartoffler skal blive til gas
15. Danske skove kan levere mere energi
16. Biogas er bedst og billigst
17. Drys bagepulver i biogassen
18. H2 Logic investerer millioner i ny brintteknologi
19. Afsluttede projekter
24. Raffineret affaldsbehandling

# Nu skal brændselscellerne ud på markedet

Med en bevilling på 54 millioner kroner fra EUDP-programmet og knap fem millioner euro fra EU er det kommercielle gennembrud for SOFC brændselsceller inden for rækkevidde.

Af Torben Skøtt

Topsoe Full Cell blev den absolutte topscorer ved EUDP's forårsrunde, hvor selskabet sammen med Risø DTU fik ikke mindre end 54 millioner kroner ud af en samlet pulje på 286 millioner til lovende energiprojekter. Pengene skal være med til at sikre, at SOFC brændselscellerne vil være klar til markedet i 2012.

– Vi arbejder med fem udviklings-trin, hvor trin ét kan betegnes som en idé, mens fem er en kommerciel teknologi, der er fuldt ud konkurrencedygtig. Med den seneste bevilling fra EUDP forventer vi at nå til trin fire i 2012. På det tidspunkt skal vi have en teknologi, som lever op til bruger-nes forventninger til effektivitet og holdbarhed, forklarer Helge Holm-Larsen. Han er direktør for forretningsudvikling hos Topsoe Full Cells, og han er overbevist om, at brændselscellerne kan blive et nyt stort industrieventyr.

– Vi ville ikke gå ind på det her område, hvis vi ikke troede på, at det kunne blive en god forretning. Vi arbejder kun med teknologier, der har en industriel relevans, og vi er meget fokuseret på at løfte teknologien ud af laboratorierne og ud på markedet, siger direktøren.

Sidste år kunne Topsoe Full Cell indvie Danmarks første fabrik til produktion af brændselsceller. Kapaciteten er på 5 MW om året i ét holdskift, og dermed er virksomheden godt rustet til at kunne levere tilstrækkeligt med celler til større de-

monstrationsanlæg. Kapaciteten kan hurtigt udvides til det tredobbelte, men en egentlig masseproduktion er der ikke tale om. Her skal man op på 2-300 MW om året for at udnytte stordriftsfordelene og få prisen ned på et niveau, hvor anlæggene kan være attraktive for almindelige forbrugere. EU har tidligere støttet projektering og opførelsen af fabrikken i Lyngby med 4,8 millioner euro.

## Markedet i fokus

SOFC brændselscellerne er kendetegnet ved en høj virkningsgrad og en stor brændselsfleksibilitet. De er ikke afhængige af at få tilført brint

som PEM cellerne, men kan bruge alle former for kulbrinter lige fra brint til dieselolie. Til gengæld kræver de en temperatur på 700 – 800 grader, og det kan være noget af en udfordring, ligesom det sætter visse begrænsninger for, hvor anlæggene kan anvendes.

Helge Holm-Larsen har således svært ved at forestille sig, at SOFC cellerne kan bruges som nødstrømsanlæg på grund af den lange opstartstid; men de er særdeles velegnede til stationære anlæg, og han ser et stort marked inden for mobile anlæg til blandt andet lastbiler og skibe.

Når langturschaufføren holder sig en velfortjent pause, bliver dieselmotoren ofte brugt som et lille kraftvarmeværk til køling og kaffebrygning. Det er en både dyr og forurenende måde at skaffe energi på, så her vil et lille brændselscelleanlæg være en værdig afløser, ligesom det også vil være oplagt til skibe og andre steder, hvor man brug for en uafhængig elforsyning.

– I det nye EUDP-projekt tager vi udgangspunkt i de markeder, der er for SOFC. For to år siden arbejdede vi meget med teknologien i et tæt samarbejde med Risø DTU. Det gør vi stadig, men i dag har vi mere fokus på markedet, fortæller projektleder Jens Ole Gulløv fra Topsoe Full Cell.

– Vi kigger især på tre områder: Små kraftvarmeanlæg til almindelige husstande, anlæg til lastbiler samt anlæg til skibe. Det er formentlig her, vi først kan tilbyde løsninger, ►



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Jens Ole Gulløv (til venstre) og Helge Holm-Larsen (til højre) foran en af de maskiner, der bliver brugt til produktion af brændselsceller.



Foto: Topsoe Full Cell

Det ser ikke ud af meget, men sådan en stak brændselsceller kan levere en effekt på 1 kW og målet er, at den med tiden skal kunne levere 2 kW. Hver celle afgiver en spænding på 1 volt og ved at serieforbinde de enkelte celler, kan man opnå en passende spændingsforskel.

- der matcher behovene. Vi vælger de enkle løsninger først, og derefter må det bredes ud til andre markeder, lyder det fra projektlederen.

### Udfordringerne

Brændselsceller er på ingen måde nogen ny opfindelse. Teorien om hvordan man kan få en brændselscelle til at producere el og varme har været kendt i over hundrede år, men det er først inden for de senere år, forskerne har været i stand til at fremstille celler med tilstrækkelig stor holdbarhed og effektivitet.

En brændselscelle består som bekendt af en elektrolyt, der er omgivet af to elektroder. I en SOFC celle omdanner den positive elektrode luftens ilt til iltioner, som passerer gennem elektrolytten og reagerer med brændstoffet ved den negative elektrode. Elektronerne kan ikke passere

elektrolytten, og derved opstår der en spændingsforskel mellem de to elektroder.

Elektrolytten skal være så tynd som muligt for at reducere modstanden, men den skal samtidig være så tæt, at det kun er ioner, der kan slippe igennem. I dag kan Topsoe Full Cell producere elektrolytter med en tykkelse på kun 0,01 mm, men man satser på at komme endnu længere ned. Målet er, at energitætheden i hver brændselsstak bliver fordoblet fra en til to kW.

En anden udfordring ved SOFC cellerne er de høje temperaturer. De kemiske reaktioner ved de to elektroder foregår hurtigere ved højere temperaturer, men det stiller store krav til valget af materialer.

– Udvalget af materialer, der kan klare et temperaturniveau på 700-800 grader igennem længere tid er

begrænset, og en høj temperatur sætter en naturlig grænse for, hvor anlæggene kan anvendes, forklarer Helge Holm-Larsen. Han vurderer, at man på sigt vil kunne sænke temperaturen til omkring 600 grader, og det vil kunne give en betydelig prisreduktion, ligesom holdbarheden formentlig vil blive bedre, fordi lavere temperatur betyder mindre korrosion.

Men en høj temperatur giver som bekendt en høj effektivitet, så i fremtiden kan man let forestille sig flere forskellige typer SOFC celler designet til hver deres formål. Er der tale om større stationære anlæg, hvor man kan udnytte spildvarmen, vil en høj temperatur være en fordel, mens et lavere temperaturniveau vil være velegnet til mindre mobile anlæg.

Læs mere om SOFC brændselsceller på [www.topsoefuelcell.com](http://www.topsoefuelcell.com).



### Brændselsceller til søs

Verdens første skib med brændselsceller er nu en realitet. Midt i juni stak det svenske bilskib Undine til søs med et 20 kW kraftvarmeanlæg baseret på brændselsceller fra danske Topsoe Full Cell. Anlægget, der er leveret af Wärtsilä i Finland, skal forsyne skibet med energi, når det ligger i havn, og supplere elforsyningen til søs. Brændstoffet er metanol, der normalt bliver fremstillet ud fra naturgas, men som også kan produceres på basis af biomasse.

Wärtsilä har siden 2008 haft et andet brændselscelleanlæg i drift i den vestlige del af Finland, hvor det forsyner en række boliger med el og varme. Cellerne stammer ligeledes fra Topsoe Full Cell, men her er brændstoffet biogas fra en nærliggende losseplads.



*I fremtiden kan biogasanlæg, som her på Mors, måske bruge brændselsceller til at opgradere biogassen til naturgaskvalitet.*

## Brændselsceller kan opgradere biogas

Normalt producerer en brændselscelle strøm, men hvis man vender processen om, kan cellen bruges til opgradering af biogas. På den måde får man en effektiv udnyttelse af biomassen, og man får mulighed for at lagre overskydende vindkraft.

Af Torben Skøtt

Topsoe Full Cell og Risø DTU har i fællesskab udviklet en teknologi, der på én gang kan løse problemerne med overskydende vindkraft og opgradering af biogas til naturgaskvalitet. Systemet er baseret på brændselsceller af typen SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), hvor man vender processen om, så man i stedet for at producere strøm tilfører strøm i kombination med biogas og vand. Derved kan cellen bruges til spaltning af såvel biogas som vand, og det åbner op for en lang række spændende perspektiver.

En brændselscelle af den type kaldes SOEC (Solid Oxide Electrolyser Cell), da der er tale om en form for elektrolyse. Biogassens indhold af kuldioxid bliver spaltet til ilt og kulilte, samtidig med at vandet bliver spaltet til ilt og brint. Iltten vil samle sig om den ene elektrode, mens brint og kulilte kan hentes ud af den anden elektrode.

### Syntesegas giver nye muligheder

Det interessante er, at brint og kulilte tilsammen danner syntesegas,

som også kendes fra anlæg, der omdanner biomasse til gas i en termisk proces. Gassen kan bruges direkte i motorer eller omdannes til andre typer brændsler som metanogas, DME, metanol, ammoniak og syntetisk benzin. Det sker i katalysatorer, som Haldor Topsøe er verdensmestre i at producere, så hele systemet er baseret på dansk produceret teknologi.

– Vi betragter syntesegas som en kemisk byggesten, der er let at arbejde videre med, forklarer direktør for forretningsudvikling hos Topsoe Full Cell, Helge Holm-Larsen. Han ser store perspektiver i teknologien, der på én gang kan konvertere overskydende vindkraft til flydende brændstoffer og samtidig sikre en mere effektiv udnyttelse af biomassen.

– Hvis man ikke udnytter indholdet af kuldioxid i biogassen, smider man halvdelen af kulstoffet væk, og det er en rigtig dårlig ide. Ved at udnytte alt kulstoffet kan man fordoble virkningsgraden, og hvis man efterfølgende bruger brændstoffet i en brændselscelle, fordobler man virkningsgraden endnu en gang, lyder det fra direktøren.

### Først om ti år

Topsoe Full Cell har testet SOEC celler i op til 3.000 timer, og resultaterne ser på mange måder lovende ud. Men i følge Helge Holm-Larsen vil der formentlig gå omkring ti år, før teknologien kan få betydning for det danske energisystem. Selskabet har i første omgang valgt at koncentrere indsatsen om færdigudvikling af SOFC cellerne, og først derefter vil man for alvor bruge resurser på elektrolyse.

– Teknisk set vil det være muligt at lave mindre demonstrationsanlæg inden for en overskuelig årrække, men hvis det for alvor skal have nogen betydning for det samlede energisystem, kræver det anlæg på flere hundrede MW.

– Det tager tid at udvikle den slags systemer, men perspektiverne er betydelige, og det vil være en vigtig brik i bestræbelserne på at få skabt et fleksibelt energisystem, pointerer Helge Holm-Larsen. ■

# Brint og biomasse er nøglen til det fossilfrie samfund

CO<sub>2</sub> er en resurse – ikke et problem. Derfor bør man droppe alle planer om at lagre CO<sub>2</sub> og i stedet bruge det til fremstilling af brændsler og kemikalier. Et energisystem baseret på brint, biomasse og CO<sub>2</sub> vil endegyldigt løse alle klimaproblemer, og meromkostningerne vil være på få procent af BNP.

Af Torben Skøtt

Kan vi basere vores energisystem på biomasse og brint, produceret ved hjælp af sol, vind og vandkraft?

Ja, det kan vi sagtens, hvis vi vel at mærke begynder at betragte CO<sub>2</sub> som en resurse i stedet for et problem. Det mener professor Henrik Wenzel fra Syddansk Universitet, der på Energiforsk-konferencen i Ingeniørhuset holdt et indlæg om "Carbon, Capture and Recycling" (CCR) – ikke at forveksle med "Carbon, Capture and Storage" (CCS), som de store energiselskaber bruger enorme resurser på at udvikle.

– Kulstof fra biomasse i kombination med brint er fremtidens energibærer, og i fremtidens vedvarende energisystem skal vi ikke lagre kulstoffet, når vi først har brugt resurser på at indsamle det. Det skal genbruges, for kun på den måde kan vi skabe en bæredygtig energiforsyning baseret på vedvarende energi, hvor klimaet, fødevareforsyningen og sikkerheden bliver de helt store vindere, fortalte Henrik Wenzel, der

*Figur 1. Princippet i CCS. Biomassen bruges på centrale anlæg, og CO<sub>2</sub>-indholdet i røggassen anvendes til produktion af flydende brændsler i en kemisk syntese sammen med brint. Energien til fremstilling af brint kommer fra sol, vind og vandkraft.*

ikke er bange for at kalde sin vision for et postulat:

– Når man siger, det er et postulat, får man automatisk en hel masse kommentarer. Det har jeg allerede fået, og det ser jeg se frem til fortsat at få, lød det fra professoren, der er kendt som en ivrig debattør. Han har i mange år haft en kritisk holdning til biobrændstoffer fremstillet af landbrugsafgrøder, og han har gang på gang slået til lyd for, at biomassen er en begrænset resurse, der skal bruges med omtanke.

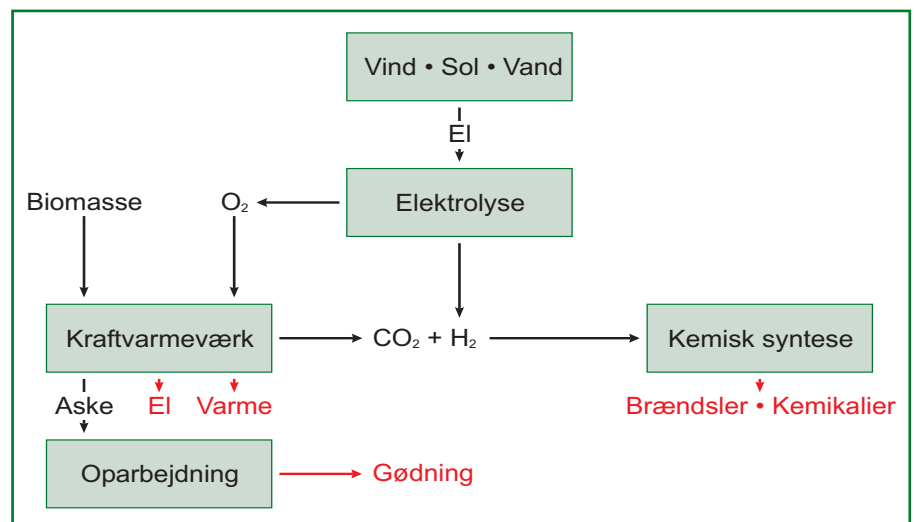
Af samme årsag mener Henrik Wenzel, at biomassen primært skal bruges på centrale anlæg. Her er virkningsgraden høj, og det er muligt at udnytte CO<sub>2</sub>-indholdet i røggassen til produktion af flydende brændsler i en kemisk syntese sammen med

brint. Produktionen af brint kan ske via elektrolyse, hvor vand spaltes til ilt og brint, og energien hertil kan komme fra sol, vind og vandkraft. Et biprodukt fra elektrolyse er ilt, og det kan udnyttes på kraftværkerne, hvor det kan være med til at sikre en mere effektiv forbrænding af biomassen (se figur 1).

– Systemet er ikke blot fossilfrit. Det løser også den gordiske knude med at lagre energien fra sol og vind, fordi det giver mulighed for at bruge den overskydende elproduktion til fremstilling af lagerstabile brændsler, forklarer Henrik Wenzel.

## Pas på kulstoffet

Med CCS kan verdens biomasse-resurser strække langt længere end ved simpel afbrænding og fermen-



*Biomassen bør anvendes på centrale anlæg, så CO<sub>2</sub>-indholdet i røggassen kan anvendes til produktion af brændsler i kombination med brint.*



tering, hvor fødevarer bruges til fremstilling af ethanol for at mætte transportsektorens stadigt stigende energibehov.

Henrik Wenzel vurderer, at verdens samlede produktion af biomasse til energiformål kan nå op på cirka 50 EJ i 2030 – det vil sige, når behovet for biomasse til fødevarer og foder er dækket. Hvis det bliver brugt til fremstilling af flydende biobrændstoffer, på den måde som det sker i dag, vil det give en samlet energiproduktion på omkring 25 EJ.

Det svarer til, hvad flytrafikken alene forventes at aftage i 2030. Kemikaliesektoren aftager lidt mere end 25 EJ, og netop de to sektorer har svært ved at undvære kulstofholdige brændsler og råvarer. Flysektoren har brug for et brændstof med høj energitæthed og kemikaliesektoren har brug kulstof som en basal byggesten til fremstilling af kemikalier.

– Kulstof er en begrænset resurse, og vi vil slet ikke kunne dække forbruget i et fossilfrit samfund, hvis vi ikke sadler om og planlægger efter at bruge de tilgængelige mængder på en mere intelligent måde, pointerer Henrik Wenzel.

Hans vision er, at vi i første omgang skal reservere biomassen til el- og varmesektoren. Det vil give en energiproduktion på 50 EJ i 2030. Det sikrer os kulstoffet i centrale kilder, og dermed kan vi få yderligere 50 EJ, når vi kombinerer CO<sub>2</sub>-udslip-

pet fra røggassen med brint fra sol og vind. Sammenlagt giver det en energiproduktion på 100 EJ, eller fire gange så meget, som en traditionel produktion af biobrændstoffer vil kunne bidrage med.

Når brændsler til transportsektoren bliver fremstillet ud fra CO<sub>2</sub> og brint, reduceres behovet for kulstof markant, og det påvirker ikke fødevarersektoren, for arealforbruget er minimalt. Energiudbyttet per hektar fra sol og vind er flere hundrede gange større end fra energiafgrøder, og vindmøllerne vil typisk være placeret i havet og solcellerne på bygninger eller ufrugtbar jord.

### Er det realistisk?

Et samfund baseret på genbrug af kulstof og syntetiske brændsler er ikke utopi. Det er meget realistisk, vurderer Henrik Wenzel.

Langt det meste af teknikken er velkendt, og Danmark har gode muligheder for, at visionen kan afprøves i praksis. Vi har årtiers erfaring i at bruge biomasse på centrale anlæg, vi har solceller og vindmøller, og danske Haldor Topsøe er verdensmestre i kemisk syntese, hvor brint og CO<sub>2</sub> omdannes til forskellige brændsler som metanol, DME, metangas og syntetisk benzin.

Visionen er langt fra gratis, men det er på den anden side heller ikke urealistisk, at pengene kan skaffes. Henrik Wenzel har regnet sig frem

til, at det vil koste cirka 300 \$ at fremstille en tønde brændstof ud fra brint og CO<sub>2</sub>, hvilket er cirka tre gange så meget som prisen for benzin.

Hvis alle verdens flybrændstoffer skal fremstilles på den måde, vil ekstraomkostningerne beløbe sig til en halv procent af verdens BNP. Omkostningerne til fremstilling af kemikalier vil være nogenlunde de samme, og hvis der er også skal være noget til den tunge vejtransport, vil de samlede omkostninger måske nå op på et par procent af BNP.

– I Danmark vil et realistisk bud på, hvor meget vi skal producere via CCR være på omkring 100 PJ om året, svarende til halvdelen af den nuværende transportsektors forbrug. Det vil koste 15-20 milliarder kroner ekstra om året, og så er gevinsten ved CO<sub>2</sub>-reduktionen, energiforsyningssikkerheden, uafhængighed af landbrugsareal ikke regnet med.

– Vi kan starte med flysektoren. Det vil sætte skub i den rette udvikling af vores energisystemer mod mere sol og vind og en fornuftig udnyttelse af de begrænsede kulstofresurser. Det vil ganske vist koste mere at flyve, men ikke ret meget, for brændstofprisen er i forvejen en mindre del af billetprisen. Og ud fra en bæredygtighedsbetragtning er det kun hensigtsmæssigt, at det koster lidt mere. Alt i alt et godt sted at starte – og prisen er kun på en halv procent af BNP, pointerer Henrik Wenzel. ■

# Banebrydende bioethanol

Biogasol er i færd med at afslutte projektet BornBioFuel 1, og dermed har virksomheden nået en milepæl i bestræbelserne på at gøre teknologien inden for 2. generations bioethanol kommerciel tilgængelig.

Af Rune Skovgaard-Petersen

Med BornBioFuel 1 er teknologien løftet fra laboratoriet til et semi-industrielt niveau. Næste mål er BornBioFuel 2 – et integreret procesanlæg i Aakirkeby på Bornholm, der forventes at blive startet op i begyndelsen af 2012. Anlægget, der nu er under projektering, vil på årsbasis kunne producere cirka fem millioner liter bioethanol, 3.000 MWh el og 7.000 tons biopiller, hvoraf hovedparten vil blive brugt til at forsyne demonstrationsanlægget med energi. EUDP har givet en betinget støtte på 78,2 millioner kroner til projektet, og derudover er der bevilget 12,4 millioner kroner til understøttende aktiviteter, der skal foregå i et samarbejde mellem Aalborg Universitetscenter og BioGasol.

Ud over projektet på Bornholm har BioGasol fået tilsagn fra det amerikanske energiministerium om godt 24 millioner dollars i støtte til et demonstrationsanlæg, der skal opføres i samarbejde med den amerikanske ethanolproducent Pacific Ethanol. Anlægget skal fungere som en slags overbygning til et 1. generations anlæg i Oregon, hvor det skal forøge ethanolproduktionen med cirka ti procent ved at bruge overskydende plantemateriale fra den eksisterende produktion.

Ud over de store demonstrationsprojekter deltager Biogasol i en række forsknings- og udviklingsorienterede projekter. Det drejer sig blandt andet om at konvertere glycerol fra produktion af biodiesel til butanol eller ethanol, forbehandling af biomasse til biogasanlæg, samt pro-

duktion af brændstof, plast og kemikalier fra biomasse.

## Første anlæg

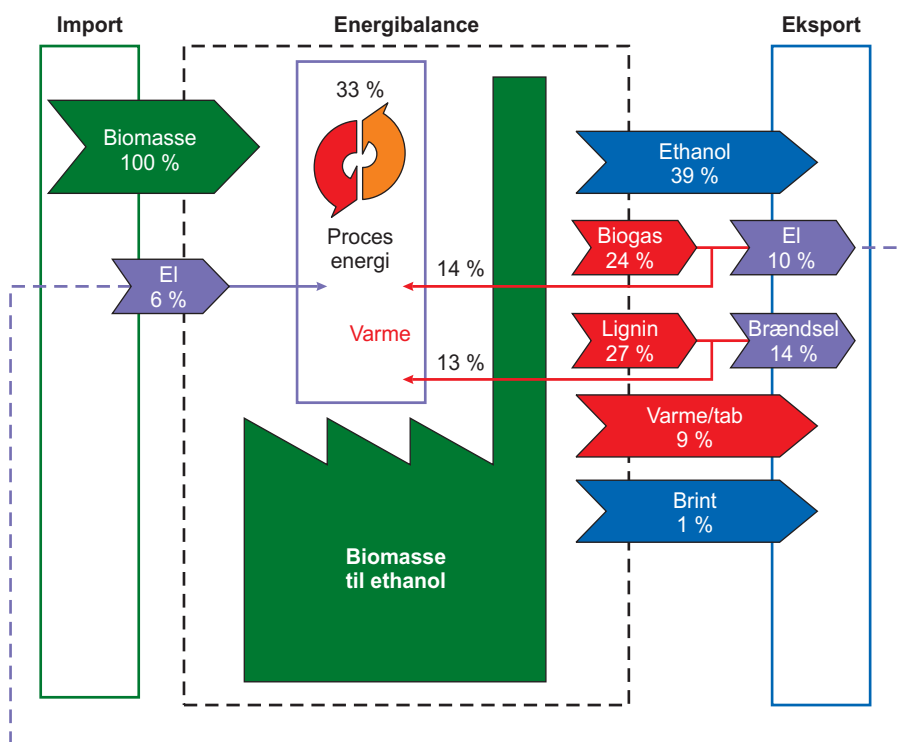
I 2006 blev det første pilotanlæg Maxifuel indviet på DTU. Anlægget blev overvejende finansieret af midler fra EFP og PSO og blev drevet i samarbejde med DTU frem til 2008, hvor BioGasol flyttede til det nuværende hovedsæde i Ballerup. Her er der blevet opført et pilotanlæg, der bliver brugt til at videreudvikle og modne kernteknologierne, så de kan indgå i et kommende demonstrationsanlæg.

I 2007 opnåede BioGasol et tilskud fra EFP på 27,5 millioner kroner, og det har gjort selskabet i

stand til at udvikle teknologien frem mod industrielle løsninger, både hvad angår mikrobiologi, proces og udstyr.

BioGasol har igennem årene modtaget forskellige priser og fået en del international opmærksomhed. Det skyldes ikke mindst selskabets teknologi inden for fermentering af C5 sukker, der anses for unik i verden.

Incitamenterne til at udvikle en teknologi til produktion af 2. generations bioethanol er dels udsigten til at kunne producere ethanol til konkurrencedygtige priser, dels de store miljømæssige fordele der er ved at producere brændstof, som kan reducere CO<sub>2</sub>-udledning med cirka 90 procent i forhold til fossilt brændstof.



Energibalancen for Biogasols anlæg.



## Teknologi

BioGasols kriterier for udviklingsarbejdet er minimering af omkostningerne til drift og fremstilling af brændslerne. Teknologien skal endvidere kunne tilpasses de lokale forekomster af biomasse, da billige råvarer er en forudsætning for at få rentabilitet i anlæggene.

Ved 1. generations anlæg fremstilles bioethanol ud fra sukker- eller stivelsesholdige planter såsom korn, majs eller sukkerrør. Sidstnævnte kan fermenteres direkte efter en mekanisk forarbejdning, mens korn og majs kræver en let forbehandling med enzymer.

Når for eksempel halm skal omdannes til bioethanol i et 2. generations anlæg kræves der en særlig teknologi, da sukkerindholdet er kapslet inde i et beskyttende lag af ligning.

Ved Biogasols forbehandling "åbnes" biomassen ved trykkogning i en svag syre- eller baseopløsning. Derved bliver sukkerkæderne tilgængelige for den videre behandling med enzymer og/eller fermentering. Forbehandling er energiefektiv med høje udbytter, og der udvikles kun få inhibitorer, som kan have en negativ indvirkning på fermenteringsprocessen.

BioGasol har udviklet en genmodificeret termofil mikroorganisme, der er i stand at omsætte C5 sukker til ethanol, hvilket øger ethanoludbyttet fra halm med 30-40 procent.

## Fakta om Biogasol

BioGasol ApS er en kombineret biotek- og ingeniørvirksomhed, som udvikler teknologi til biokemisk fremstilling af bæredygtige transportbrændstoffer.

Selskabet blev stiftet i 2006 på basis af en række lovende forskningsresultater fra DTU.

I dag tæller BioGasol cirka 30 medarbejdere, som arbejder inden for en række fagområder, der er væsentlige for at kunne opnå helstøbte løsninger.

Læs mere på:  
[www.biogasol.com](http://www.biogasol.com)

Selskabet har endvidere udviklet et integreret koncept på basis af det første pilotanlæg på DTU. Konceptet sikrer en sammenhængende proces i hele anlægget, hvilket er med til at optimere energiudbyttet og sikre en god driftsøkonomi. Denne proces er testet og optimeres fortsat i en særlig fermenteringsreaktor, der er blevet udviklet af BioGasol.

## Kulstofslagteri

Det er væsentligt at understrege, at alle biomassens komponenter søges udnyttet ud fra princippet om, at anlægget skal fungere som et "kulstofslagteri". Det sker ved, at:

- cellulose omdannes til ethanol ved hjælp af enzymatisk hydrolyse og fermentering af C6 sukker
- hemicellulose omdannes til ethanol via mikrobiel fermentering.
- lignin omdannes til brændselspiller.

Med halm som råvare stammer 60-70 procent af ethanolproduktionen fra cellulose, mens 30-40 procent kommer fra hemicellulose.

Det ligninbaserede brændsel anvendes som udgangspunkt til at producere damp til anlæggets drift og tegner sig for cirka 27 procent af energiproduktionen. Desuden produceres der biogas fra rensning af procesvand, som ligeledes bidrager med cirka 24 procent af energiproduktionen i form af "grøn" elektricitet fra en gasmotor. Endelig er der en mindre brintproduktion fra fermenteringen af C5 sukker.

Den samlede virkningsgrad for anlægget er på omkring 67 procent, hvoraf de 39 procent kan afsættes til transportsektoren som bioethanol.

## Kemikalier fra biomasse

BioGasols målsætning er, at kunne levere teknologi til forbehandling og fermentering af C5 sukker på kommende 2. generations bioethanol-anlæg. Et demonstrationsanlæg er et naturligt skridt i retning af at modne teknologien og reducere risikoen for fremtidige fuldskaalanlæg, der skal kunne producere mere end 60 millioner liter bioethanol om året.

Et andet interessant forretningsområde er produktion af kemikalier.



Foto: DTU

BioGasols første pilotanlæg Maxifuel på DTU.



Foto: Biogasol

BioGasols fermenteringsreaktor til C5 sukker.



Foto: Biogasol

BioGasols pilotanlæg til forbehandling af biomasse.

I dag bliver omkring 11 procent af verdens olieproduktion brugt i den kemiske industri, og meget af den teknologi, som udvikles til produktion af 2. generations bioethanol, vil også kunne bruges til fremstilling af kemikalier ud fra biomasse.

Rune Skovgaard-Petersen er projektleder for BornBioFuel, e-mail [rsp@biogasol.com](mailto:rsp@biogasol.com)

## Statoil vil have tang i tanken

**Statoil har indgået en aftale med det amerikanske firma Bio Architecture Lab om udvikling af en mikroorganisme, der skal omdanne sukkertang til biobrændstof. Brændstoffet forventes at være på gaden inden for de næste ti år.**

Sukkertang er, som navnet siger, kendetegnet ved at have et højt sukkerindhold. Faktisk er der mere sukker i det tang end i de sukkerrør, som har gjort Brasilien til verdens førende producent af bioethanol.

Statoil var det første olieselskab, der begyndte at tilsætte bioethanol til benzin på det danske marked. Det var det første olieselskab, der begyndte at bruge bioethanol udvundet af halm, og nu satser man på at blive det første olieselskab, der kan levere bioethanol udvundet af tang.

Men forbrugerne skal væbne sig med tålmodighed. Statoil vurderer, at det vil tage adskillige år, før en

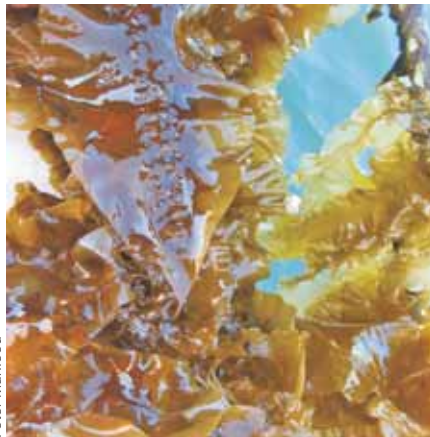


Foto: Marifood

*Sukkertang indeholder betydelige mængder sukker, men der skal udvikles nye mikroorganismer før det kan bruges til produktion af brændstof.*

industriell produktion er på plads, og at det kan tage omkring ti år, før forbrugerne kan hælde tang i tanken.

En af udfordringerne består i at udvikle en mikroorganisme, der kan

gøre en større del af sukkeret anvendeligt til produktion af brændstof. I dag er det kun en del af planternes sukkerindhold, der kan omsættes med almindelige gærbakterier, så Statoil har indgået et samarbejde med det amerikanske selskab Bio Architecture Lab, der regner med at have en ny mikroorganisme klar inden for tre til fire år.

Sideløbende hermed arbejder Statoil på at udvikle et koncept, der skal gøre det muligt at dyrke og høste tang i stor skala. Der bliver med andre ord ikke tale om at høste fra naturlige forekomster, som det for eksempel sker i Sydeuropa.

Arbejdet med dyrkning og høst foregår i samarbejde med den uafhængige, norske forskningskoncern SINTEF. De første vækstforsøg med tang foregår på Ørlandet vest for Trondhjem, og de foreløbige resultater ser lovende ud.

TS

## Statoil har modtaget første sending halmethanol

**Mandag den 23. august modtog Statoil den første leverance af 2. generations bioethanol fra Inbicons demonstrationsanlæg i Kalundborg.**

Lasten på 28.500 liter bioethanol blev kørt til Statoils afdeling i Hedehusene, hvor det i første omgang vil blive oplagret. Selskabet forventer, at det nye brændstof vil blive blandet i benzinen fra 4. kvartal 2010, men det afhænger af, hvor store mængder der bliver produceret på anlægget i Kalundborg

Statoil har kontrakt på de første fem millioner liter bioethanol, Inbicon kan levere. Det svarer til et helt års produktion, men da der er tale om et nyt produkt, er der ikke fastsat en bestemt leveringsperiode.

Statoil har kunnet tilbyde de danske bilister benzin blandet med bioethanol siden maj 2006, men det er først i år, hvor det er blevet lovligt, at de andre benzinselskaber er



Foto: Torben Skott/BioPress

fulgt med. Siden den 21. juni i år har der været krav om, at al benzin skal være tilsat fem procent bioethanol, og fra næste år bliver det et krav, at der skal være syv procent biodiesel i den almindelige dieselolie.

– Vi har været først med biobrændstoffer i fire år, uden konkurrenterne har været med, og nu bliver vi de første til at introducere 2. generations-bioethanol, siger Statoils kommunikationsdirektør Per Brinch. Han vil ik-

*Fra indvielsen af Inbicons fabrik i november 2009.*

ke garantere, at Statoil er det første selskab i verden, der kan levere det nye brændstof, men han er overbevist om, at selskabet er blandt de allerførste.

Med bioethanol fra Inbicon reduceres CO<sub>2</sub>-udledningen med 85 procent sammenlignet med almindelig benzin. Hvis 10 procent af Danmarks benzinforsbrug erstattes med halmethanol, vil CO<sub>2</sub>-udledningen blive reduceret med 600.000 ton om året svarende til omkring én procent af den samlede danske CO<sub>2</sub>-udledning.

Inbicon har fået tilskud fra såvel EU som Energistyrelsen til udvikling af teknologien. I 2007 bevilgede Energistyrelsen 22,5 millioner kroner fra EFP-programmet, og det følgende år blev der ydet et tilskud fra EUDP-programmet på godt 54 millioner kroner.

TS

# Tang kan rense havet for næringsstoffer

**Danmark er oplagt til storskala-forsøg med makroalger som sukkertang. Med tang kan vi rense de indre danske farvande for næringsstoffer, vi kan bruge de bedste ingredienser i fødevarerindustrien, og restfraktionen vil være oplagt til produktion af bioethanol.**

I takt med den stigende efterspørgsel på bioenergi begynder flere og flere forskere at se sig om efter nye muligheder for at dyrke biomasse til energiformål. I den forbindelse har den blå biomasse – det vil sige alt, hvad der kan gro i havet – vist sig at have et betydeligt potentiale, men hidtil har økonomien været temmelig tvivlsom i den slags projekter. Med dagens teknologi er det alt andet lige væsentligt dyrere at dyrke og høste afgrøder i havet end på landjorden.

Et af de få firmaer i Danmark, der har valgt at beskæftige sig seriøst med tangproduktion, er Marifood, der blandt andet dyrker sukkertang i Århusbugten. I dag bliver produktionen afsat til fødevarerindustrien, men indehaveren Rasmus Bjerregaard kan sagtens forestille sig, at det kan blive attraktivt at producere sukkertang til produktion af biobrændstoffer.

– Det skal være en treenighed, hvor fiskeopdrættere, fødevarerindustrien og energibranchen går sam-

men. En stor del af biomassen vil kunne afsættes til produktion af bioethanol, men de bedste ingredienser skal fortsat bruges til fødevarer. Og så skal havbrugene bidrage til produktionen, for de har en klar interesse i at få fjernet næringsstoffer for at kunne bibeholde og udvikle deres erhverv, forklarer Rasmus Bjerregaard.

Opdræt af fisk i havvand har længe været i myndighedernes søgelys, fordi man ikke kan rense vandet, som det er tilfældet med dambrug. Men man kan kompensere for tabene af kvælstof og fosfor ved at dyrke tang, og på den måde få regnestykket til at gå op.

## Bidrag fra havbrug

– Der findes endnu ingen regler for handel med kvælstofkvoter, men det er mit indtryk, at fiskeavlerne er villige til at betale et par kroner per kg fisk for at kunne dokumentere over for myndighederne, at de har styr på udledningen af næringssalte. Alternativet er, at de ikke kan udvide produktionen eller får pålagt diverse restriktioner, og det kan let blive endnu dyrere, pointerer Rasmus Bjerregaard. Han vurderer, at potentialet for produktion af sukkertang i Danmark er på knap to millioner tons om året. Så meget skal der nemlig til for at rense de indre danske farvande for kvælstof.

– Jeg mener, det er realistisk, at vi inden for de næste 4 – 5 år kan producere omkring 300.000 tons sukkertang om året, og så begynder det at ligne noget. Med de mængder vil vi kunne indgå faste kontrakter om leverancer til produktion af bioethanol, siger Rasmus Bjerregaard.

Sukkertang indeholder tre grupper af kulhydrater, som kan omsættes til ethanol. De to grupper kan fermenteres med de gærtyper, der allerede er på markedet, mens den tredje gruppe kræver udvikling af en helt ny mikroorganisme. Det arbejder man blandt andet med i USA, hvor Bio Architecture Lab forventer at have løst problemet inden for tre til fire år. Hvis det holder stik, kan det for alvor blive interessant at bruge sukkertang til fremstilling af bioethanol.

Marifood dyrker sukkertang på lange liner, spændt ud mellem bøjer og fæstnet til havbunden med et anker. Hver hovedline er på 250 meter, og her er der med passende mellemrum monteret lodrette liner med sporer, som i løbet af cirka et halvt år bliver til sukkertang på hver halvanden meters længde.

– En enkel plante producerer 50 millioner sporer, så det er ikke råmateriale, vi mangler. Det handler primært om masseproduktion, så vi kan få mekaniseret nogle af de processer, der i dag er arbejdskrævende, lyder det fra Rasmus Bjerregaard. ■



Foto: Marifood

Sukkertang på liner i Århusbugten.



Sukkertangen høstes.



Rasmus Bjerregaard med sukkertang.

# Naturlig tørring af brænde

Nye undersøgelser fra Skov & Landskab viser, at brænde kan hugges på alle tider af året, men det gælder om at få det under tag hurtigst muligt. Gran kan bruges inden fyrings-sæsonen, hvis det blot bliver hugget inden midsommer, mens bøg, eg og ær kræver halvandet års tørring.

Af *Andreas Bergstedt, Niels Heding og Linda Kjær Sønderby*

Træ til energiformål udgør ikke mindre end 44 procent af de vedvarende energikilder i Danmark. Det er mere end bidraget fra vindkraften, og i følge Energistyrelsens prognoser vil forbruget af træ til energiproduktion blive fordoblet i løbet af de næste ti år.

Kraftvarmeværkerne anvender i dag store mængder træ som brændsel, men alligevel bruges der mere træ i de cirka 700.000 brændeovne og brændefyr, som findes her i landet. I følge Energistyrelsens statistik for 2008 udgør brændefyring 27 PJ, og det sparer atmosfæren for omkring 1,8 millioner tons kultveilde om året.

Brændefyring har givet anledning til betænkeligheder fra flere sider. Det Økologiske Råd har således kørt en kampagne for at begrænse brændefyring, da de mener, det giver anledning til sundhedsfarlige emissioner.

I følge de seneste målinger fra Danmarks Miljøundersøgelser er emissionerne imidlertid betydeligt mindre end hidtil antaget, og i følge en doktorafhandling af Jakob Lön-dahl fra Lunds Universitet er partiklerne langt mindre skadelige end partikler fra bilernes udstødningsgas. Endelig har der været røster fremme om, at brændet burde anvendes i kraftvarmeværker, men her ser man bort fra den kendsgerning, at hovedparten af brændet stammer

fra træer, som ikke eller kun meget vanskeligt kan udnyttes til flis.

Der er ikke udført mange undersøgelser af brænde og brændefyring. Det er derfor med særlig glæde, at Center for Skov & Landskab med velvillig støtte fra Gluds Legat har gennemført denne undersøgelse af naturlig tørring af brænde.

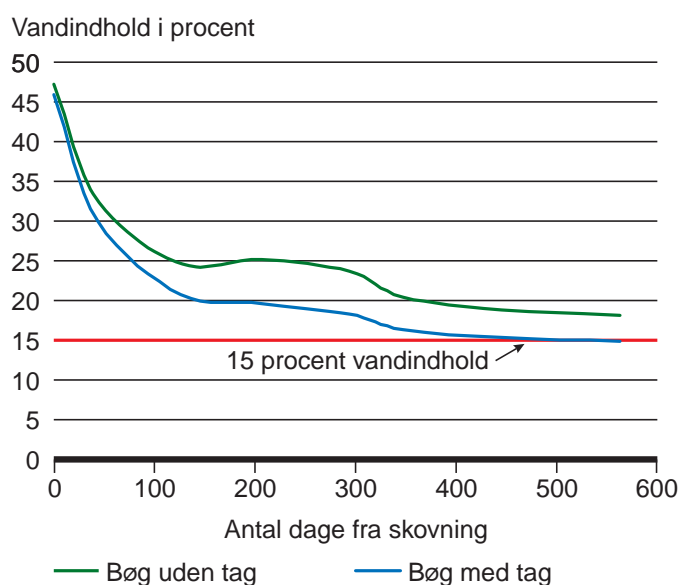
## Udførelse

Forsøgene blev påbegyndt i marts 2007 og afsluttet i juni 2010. Der blev fremstillet 40 jernrammer med en åbning på 1 x 1 meter og en bredde på 0,5 meter. Med en brænde-længde på 33 cm rummer hver jernramme en tredjedel rummeter, og brændets vandindhold kan derefter bestemmes ved at veje den fyldte



Foto: Bruno Bilde Jørgensen

Linda Kjær Sønderby ved siden af de brændestakke, der blev opbevaret under tag. Af hensyn til vejning af rammerne måtte halvtaget bygges højt over brændet, og det er på ingen måde ideelt, når det drejer sig om få brændet så tørt som muligt.



Figur 1. Tørring af bøgebrænde med og uden tag.



Foto: Bruno Bilde-Jørgensen

De enkelte rammer med brænde er blevet vejet med jævne mellemrum for at bestemme vandindholdet. Det er Niels Heding til venstre på billedet og Andreas Bergstedt til højre på frontlæsseren.

ramme som vist på billedet ovenfor. Første gang med helt friskskovet brænde og derefter med intervaller på én til flere måneder afhængigt af årstiden. Ved forsøgets afslutning er brændet blevet tørret i en ovn ved 103 grader for at bestemme indholdet af tørstof ved sidste vejning.

Nedbøren spiller naturligvis en rolle for, hvor hurtigt brændet bliver tørt. I et normalår er nedbørsmængden på 712 mm, men forsøgsperioden har ligget over gennemsnittet. Den største afvigelse var i 2007, hvor der faldt 867 mm eller 22 procent mere regn end i et normalår.

### Hvornår skal træerne fældes?

Målinger på nyfældede træer viser, at årstiden kun har lille betydning for

vandindholdet. Friskskovet bøg og eg har et vandindhold på cirka 45 procent, mens ær ligger lidt lavere med cirka 42 procent. Rødgran udviste den største forskel, idet vandindholdet for marts 2007 var markant lavere end for den øvrige del af året. Det skyldes, at brændet fra marts stammer fra gammel gran, hvor kærnetræet erfaringsmæssigt er mere tørt end fra unge træer.

### Brændet skal under tag

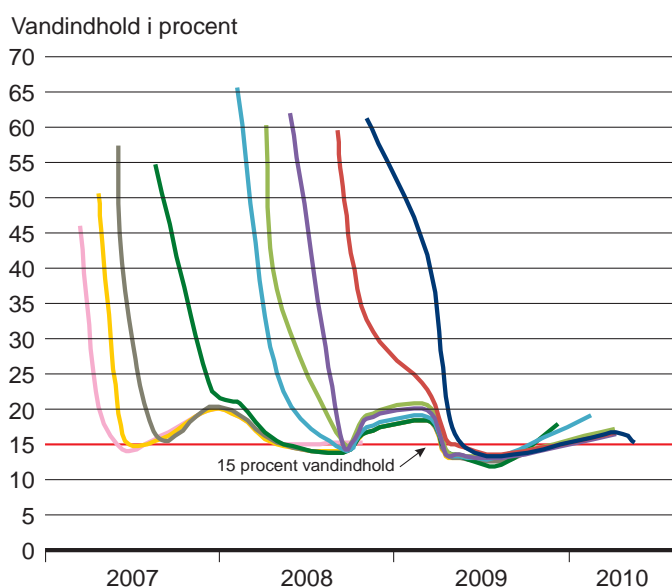
For hver træart er der udarbejdet en kurve over tørreforløbet, og de afspejler alle virkningen af halvtaget. I figur 1 er vist gennemsnitskurven for bøg, og heraf fremgår det, at der er en vedvarende forskel på cirka fem procentenheder imellem vandindholdet

det i brænde, der er uden halvtag og brændet, der er under halvtag. Bemærk, at kurven er en gennemsnitskurve. Nogle enkelte rammer uden tag nåede faktisk ned på 15 procent vandindhold.

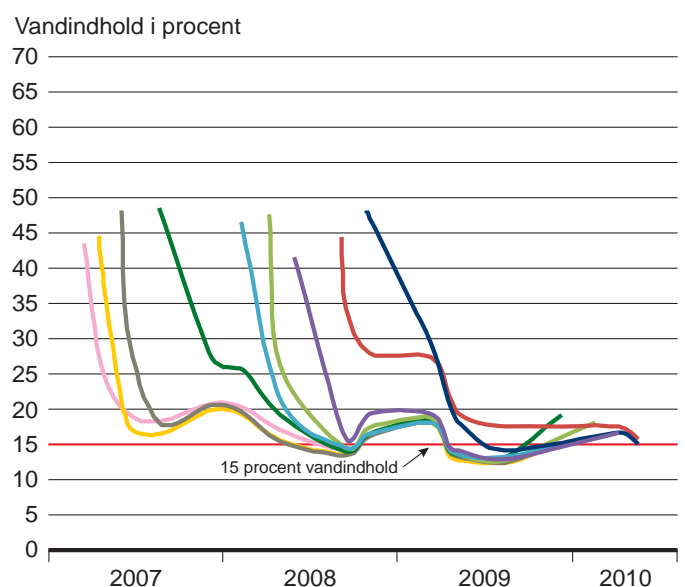
Betydningen af at få brændet hurtigt under tag er således tydeligt. Allerede efter 50 dages tørring optræder der en forskel på cirka fem procentenheder – en forskel, som er vedvarende.

### Årstidens betydning

Til illustration af årstidens betydning for tørreforløbet er der udarbejdet et diagram for hver forsøgsrække. Disse diagrammer har alle et ensartet udseende. I figur 2 er vist forløbet for rødgran med tag, mens



Figur 1. Tørring af rødgran under tag.



Figur 1. Tørring af bøg under tag.

### Fakta om brændetørring

- Der er ikke nogen bestemt årstid, som man bør hugge brænde på. Vandindholdet i de levende træer varierer næsten ikke med årstiden.
- Det er altid en fordel at få brændet under tag så hurtigt som muligt. Allerede efter 50 dage vil der være en forskel i vandindholdet på cirka fem procentenheder, og det er vel at mærke en forskel, som er vedvarende.
- Granbrænde tørrer hurtigere end brænde af bøg, eg og ær. Ved skovning inden midsommer kan vandindholdet i gran reduceres til omkring 15 procent, inden fyringssæsonen begynder. Bøg, eg og ær kræver som regel tørring i halvandet år for at nå ned på 15 procent fugtighed.

► figur 3 viser forløbet for bøg med tag.

Det interessante er, at brændetørringen forløber ensartet til at begynde med. De rammer, som indeholder brænde, der er skovet efter midsommer viser et forløb, hvor tørreprocessen går i stå i månederne omkring nytår. Er brændet skovet inden midsommer stiger vandindholdet med cirka fem procent omkring årsskiftet, men derefter falder det hurtigt igen til omkring 15 procent, som er ønskværdigt.

Kurverne viser endvidere, at granbrænde skovet før midsommer kan tørre ned til cirka 15 procent inden fyringssæsonen begynder i oktober, mens bøg, eg og ahorn først kan anvendes det følgende år.

Gran er som nævnt den træart, der tørrer hurtigst. Eg og ær tørrer langsommere end bøg, men både bøg, eg og ær kræver som regel tørring i halvandet år for at nå ned på den anbefalede fugtighed på 15 procent.

*Andreas Bergstedt er forstkandidat, Linda Kjær Sønderby er studerende og Niels Heding er forstkandidat, dr. agro. Alle er tilknyttet Center for Skov & Landskab, Københavns Universitet.* ■

## Kartofler skal blive til gas

**Karup Kartoffelmelfabrik får 1,5 millioner kroner af Region Midtjylland til et udviklingsprojekt, der skal omdanne 340.000 tons kartoffelaffald til gas.**

I Karup ligger en af verdens største og mest moderne kartoffelmelfabrikker. Et stort udviklingsprojekt, støttet af Region Midtjylland, skal nu sikre, at fabrikken også kommer i front, når det gælder produktion af miljøvenlig energi.

Fabrikken i Karup producerer årligt 340.000 tons restprodukter, hvilket vil give et pænt bidrag til energiforsyningen af virksomheden, Karup by og naturgasnettet. Projektet skal gerne inspirere hele levnedsmiddelindustrien til at blive mere miljøvenlig og omfatter også en kortlægning af lignende restprodukter i region Midtjylland.

Det er CBMI – Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation – der skal lede projektet med deltagelse af forskere fra DTU. I følge projektleder Knud Tybirk fra CBMI Gert Schou, så består udfordringen blandt andet i, at restprodukterne kun er til rådighed 3 – 4 måneder om året, og at biomassen har et meget lavt tørstofindhold.

– I første omgang skal forskere fra DTU Miljø undersøge, hvilken teknologi der er bedst egnet til den type affald. Næste fase bliver etablering af et pilotanlæg på fabrikken, og derefter skal ledelsen beslutte, om der skal bygges et fuld-



foto: kaup.kartoffelmelfabrik

Kartoffelmelfabrikken i Karup producerer årligt 340.000 tons restprodukter, hvilket vil give et pænt bidrag til energiforsyningen af virksomheden, Karup by og naturgasnettet.

skalaanlæg i Karup, fortæller Knud Tybirk.

Formanden for Karup Kartoffelmelfabrik, gårdejer Anders Dyrberg, er glad for, at den idé, som folkene bag fabrikken har gået og tumlet med i mange år, nu har fået opbakning fra regionen.

– Det afgørende for, at vi nu kommer i gang, er, at regionen støtter færdigudviklingen af teknologien. Som pionerer på området er det ikke rimeligt, at vi skal tage den risiko alene. Til gengæld er vi klar til at investere et betydeligt millionbeløb i et fuldskalaanlæg, når først teknologien er på plads”, siger Anders Dyrberg. ■

### Forgasningsstrategi fra Dansk Gasteknisk Center

For godt et år siden gik Dansk Gasteknisk Center i gang med at udarbejde en forgasningsstrategi for at få klarlagt mulighederne for forgasning af biomasse og afsætning af gassen til naturgasnettet.

Fase I er nu afsluttet, og heri konkluderes det, at forgasning af biomasse og levering af gas til det danske naturgasnet er en interessant mulighed med et væsentligt potentiale. Bestyrelsen for selskabet har på den baggrund besluttet at igangsætte Fase II for at få afklaret de tekniske, økonomiske og miljømæssige aspekter ved forgasning. I første omgang vil der blive gennemført en analyse af de samfundsøkonomiske og selskabsøkonomiske aspekter. Derudover skal der indsamles viden fra projekter i andre lande, og der er lagt op til et intensivt samarbejde med Svensk Gasteknisk Center, der er langt fremme på forgasningsområdet.

Kilde: [www.dgc.dk](http://www.dgc.dk)

# Danske skove kan levere mere energi

Danske skove kan øge produktionen af energitræ med 50 procent og fortsat være bæredygtige. Det viser en ny rapport fra Skov & Landskab, hvor forskerne kommer med deres bud på, hvor meget skovene kan bidrage med frem til 2040.

Af Torben Skøtt

Anvendelsen af træ til energiproduktion har været stærkt stigende gennem de seneste 20 år, og alt tyder på, at den tendens vil fortsætte mange år endnu. Senest har DONG Energy meldt ud, at de vil øge anvendelsen af træ på kraftværkerne og til gengæld skære ned på forbruget af halm. Træ i form af piller kan nemlig fyres direkte ind på de kulfyrede værker, og problemerne med korrosion er langt mindre, end når der anvendes halm som brændsel.

Produktionen af flis i de danske skove er steget fra cirka fem procent af den samlede hugst i 1990 til 32 procent i 2008. Til gengæld har hugsten af brænde været nogenlunde konstant siden 1980'erne og omfatter i dag omkring 300.000 kubikmeter eller 15-20 procent af den samlede hugst.

I følge Energistyrelsen bidrog træ og træaffald med cirka 62 PJ ud af et samlet energiforbrug på 844 PJ i 2008. Cirka en tredjedel af energiproduktionen stammede fra import af brænde, flis og træpiller, men i følge en ny rapport fra Skov & Landskab kan en del af importen erstattes med danskproduceret træ.

– De danske skove kan producere halvanden gange mere energitræ,



Foto: Torben Skøtt/BioPress

HedeDanmark i færd med at hugge flis i nåltræsskov på Djursland.

end de gør i dag, men det er et frit marked, så hugsten afhænger helt af, hvad skovejere kan få for træet, fortæller Thomas Nord-Larsen, der er en af forfatterne til rapporten "Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ hektar". Her er der opstillet tre scenarier for det fremtidige potentiale, hvor det midterste scenarie med 50 procent øgning i forhold til det nuværende forbrug anses for mest realistisk.

Tidligere lod man en del træer blive liggende i skoven, fordi der ganske enkelt ikke var et marked for skovflis, men med stigende priser er større og større træer hugget til flis. Den udvikling vil formentlig fortsætte i takt med, at efterspørgslen på energitræ stiger i såvel Danmark som i landene omkring os.

En væsentlig del af importen består i dag af træpiller, hvor den danske produktion er faldet markant gennem de senere år. Næsten 90 procent af alle træpiller bliver således importeret, men der importeres også brænde og flis, som hurtigt vil kunne erstattes af træ fra de danske skove.

## Dobbelt så meget skov

I 1989 vedtog et bredt flertal af Folketingets partier, at Danmarks skovareal skal fordobles i løbet af cirka 100 år, så det kommer til at dække 20-25 procent af landet. Skovrejsningen kan blandt andet være med til at begrænse drivhuseffekten, skabe rekreative områder, sikre rent grundvand og øge produktionen af træ til energiformål.

– Hvis arter som poppel og sitkagran bliver udbredt i de nye skove, kan det for alvor få betydning for produktionen af biomasse. Et poppeltræ kan blive omkring otte meter højt på bare fem år, så det er noget, der batter i energiregnskabet, siger Thomas Nord-Larsen.

Læs mere på [www.sl.life.ku.dk](http://www.sl.life.ku.dk) under publikationer.

|               | Forbrug i 2006-2008      | Prognose for 2010-2019   | Prognose for 2020-2029   | Prognose for 2030-2039   |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Hugst i alt   | 2.423.000 m <sup>3</sup> | 3.545.000 m <sup>3</sup> | 3.693.000 m <sup>3</sup> | 3.969.000 m <sup>3</sup> |
| Gavntræ i alt | 1.321.000 m <sup>3</sup> | 2.003.000 m <sup>3</sup> | 2.313.000 m <sup>3</sup> | 2.510.000 m <sup>3</sup> |
| Brænde i alt  | 365.000 m <sup>3</sup>   | 4.441.000 m <sup>3</sup> | 437.000 m <sup>3</sup>   | 434.000 m <sup>3</sup>   |
| Flis i alt    | 737.000 m <sup>3</sup>   | 1.101.000 m <sup>3</sup> | 942.000 m <sup>3</sup>   | 1.024.000 m <sup>3</sup> |

Sammenligning af den gennemsnitlige årlige hugst i 2006 – 2008 med prognoser for scenarie 2 frem til 2040.

# Biogas er bedst og billigst

**Biogas slår alle andre løsninger, når det drejer sig om at finde det billigste og mest miljøvenlige brændstof til transportsektoren. Energistyrelsen vurderer dog fortsat, at gassen vil gøre mest gavn som brændstof til kraftvarmeanlæggene.**

Biogasanlæg er et af de billigste virkemidler, når det drejer sig om at begrænse den globale opvarmning. De kan på én gang fortrænge fossile brændsler fra energisektoren og reducere landbrugets udslip af metan og lattergas. På den måde kan man opnå en CO<sub>2</sub>-reduktion på hele 220 procent, når gassen bruges til produktion af kraftvarme, og det til en pris på kun 40 kroner per ton CO<sub>2</sub>-ækvivalent.

Men biogas er også bedst og billigst, når det drejer sig om at finde alternative drivmidler til transportsektoren. Det viser en række beregninger, som COWI har foretaget for Energistyrelsen. Omkostningerne ved at køre en kilometer på biogas i en bil af Golf-klassen er på kun 1,08 kroner, når der ses bort fra skatter og afgifter. Det er en anelse lavere end for både benzin og diesel, ligesom det også er lavere end for bioethanol, hvor prisen er på 1,17 kroner per kilometer.



foto: svensk biogas

Det dyreste alternativ er brændselscellebilerne til metanol og brint. I dag koster det omkring 6,30 kroner per kilometer, men COWI forventer at prisen vil komme ned på 1,27 kroner i 2025. Til den tid vil omkostningerne til biogas være faldet til 0,96 kroner per kilometer, og dermed vil biogassen fortsat være det billigste brændstof til transportsektoren.

Den vigtigste årsag til at biogas er billigere end alle de øvrige alternativer er, at langt hovedparten af råmaterialelet i form af husdyrgødning er gratis. Det koster ganske vist at rense gassen for CO<sub>2</sub> og gøre den klar til at blive fyldt på bilerne, men det er stadig billigere end at købe både

*Når der ses bort fra skatter og afgifter koster det kun 1,08 kroner at køre en kilometer på biogas.*

benzin, diesel eller andre former for biobrændstoffer.

Energistyrelsen anbefaler dog fortsat, at biogassen først og fremmest anvendes til produktion af kraftvarme. Her kan gassen nemlig bruges direkte uden forudgående opgradering til naturgaskvalitet, så samfundsøkonomisk vil det være en bedre løsning end at bruge gassen til transport.

På trods af de positive udmeldinger fra Energistyrelsen kniber det fortsat med at få bygget nye biogasanlæg. Landmændene har svært ved at skaffe den nødvendige finansiering, og anlæggene er presset på økonomien, fordi de normalt kun har en enkelt aftager til gassen.

Beregningerne fra COWI er udarbejdet som en opdatering af rapporten "Alternative drivmidler i transportsektoren" fra januar 2008. De oprindelige 12 teknologispør er opdateret til 2010 niveau, der er medtaget flere teknologier, og beregningsmodellen er gjort mere brugervenlig, så det fremover vil være nemmere at medtage nye typer køretøjer og nye brændstoftyper. TS

| Teknologi               | 2006      |               |                     | 2025      |               |                     |
|-------------------------|-----------|---------------|---------------------|-----------|---------------|---------------------|
|                         | Pris/km   | Virkningsgrad | CO <sub>2</sub> /km | Pris/km   | Virkningsgrad | CO <sub>2</sub> /km |
| Konventionel diesel     | 1,089 kr. | 18,9 %        | 142,34 gram         | 1,113 kr. | 22,5 %        | 119,57 gram         |
| Konventionel benzin     | 1,086 kr. | 14,4 %        | 182,52 gram         | 1,083 kr. | 21,1 %        | 124,27 gram         |
| Bioethanol (1. gen.)    | 1,174 kr. | 12,0 %        | 145,19 gram         | 1,108 kr. | 17,6 %        | 98,80 gram          |
| Bioethanol (2. gen.)    | –         | –             | –                   | 1,069 kr. | 19,3 %        | 59,46 gram          |
| Biodiesel (RME)         | 1,147 kr. | 16,8 %        | 71,55 gram          | 1,136 kr. | 20,0 %        | 65,23 gram          |
| Bio-olie                | 1,196 kr. | 17,3 %        | 66,00 gram          | 1,192 kr. | 20,6 %        | 59,86 gram          |
| Naturgas                | 1,083 kr. | 14,7 %        | 163,91 gram         | 1,030 kr. | 21,6 %        | 111,22 gram         |
| Methanol fra biomasse   | 6,351 kr. | 14,7 %        | 49,20 gram          | 1,279 kr. | 18,7 %        | 38,00 gram          |
| Brint                   | 6,307 kr. | 10,0 %        | 250,71 gram         | 1,273 kr. | 18,2 %        | 226,85 gram         |
| Elbiler                 | 1,489 kr. | 30,0 %        | 130,31 gram         | 1,149 kr. | 37,1 %        | 109,45 gram         |
| Diesel fra kul          | 1,109 kr. | 13,2 %        | 196,44 gram         | 1,075 kr. | 15,7 %        | 164,08 gram         |
| Diesel fra biomasse     | 1,380 kr. | 10,6 %        | 75,52 gram          | 1,305 kr. | 12,6 %        | 62,07 gram          |
| Biogas                  | 1,077 kr. | 13,5 %        | - 33,50 gram        | 0,959 kr. | 19,8 %        | - 23,31 gram        |
| NovoZymes (2. gen. E85) | 1,205 kr. | 11,9 %        | 93,08 gram          | 1,099 kr. | 19,5 %        | 66,10 gram          |



# Drys bagepulver i biogassen

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Thorsø Biogasanlæg vil nu teste, om bagepulver i et traditionelt scrubberanlæg kan rense biogassen for CO<sub>2</sub> og svovlbrinte. Lykkes det, vil biogas kunne opgraderes til naturgaskvalitet for 50 øre/kubikmeter biogas.

Af Torben Skøtt

En gang bagepulver og et scrubberanlæg, som flere biogasanlæg i forvejen er udstyret med, kan måske være løsningen for de anlæg, der gerne vil sende biogassen ud i det fintmaskede naturgasnet.

Biogas består af cirka to tredjedele metan og en tredjedel CO<sub>2</sub>. Gassen kan sagtens udnyttes på kraftvarmeværker, men skal den ud på naturgasnettet, skal den først renses for CO<sub>2</sub>. Det er en forholdsvis dyr løsning, men det har folkene bag Thorsø Biogas tænkt sig at gøre noget ved. I samarbejde med Agrotech og On Off Management vil de nu forsøge sig med en lavteknologisk løsning, hvor man bruger billige kemikalier og gør brug af de komponenter, biogasanlægget i forvejen råder over.

– Vi har lavet nogle forsøg på "køkkenbordet", og det ser umiddelbart lovende ud, men om det kan fungere i større skala er selvfølgelig en anden sag, fortæller Hans Henrik Hansen fra On Off Management. Han har udviklet ideen i samarbejde med Bjørn Hjortshøj Andersen fra Agrotech, og sammen skal de to nu finde ud af, om det også kan fungere på et mellemstort biogasanlæg.

– Måske ender det med, at vi kun kan fjerne en del af CO<sub>2</sub>-indholdet, men det er jo også noget værd. Det giver større kapacitet i gaslagre og

mindre udgifter til at komprimere og pumpe gassen, siger Hans Henrik Hansen.

## Kendt teknologi

Et scrubberanlæg er kendt teknologi, og flere biogasanlæg bruger det allerede til at rense gassen for svovlbrinte. Tanken er, at bagepulver opløst i vand kan pumpes ind i anlægget, hvor det kan opsuge gassens indhold af CO<sub>2</sub>. Herved bliver det til en tykflydende masse, der tages ud af anlægget og varmes op til lidt over 70 grader, hvorved CO<sub>2</sub>-indholdet frigives. Den tilbageværende væske pumpes på ny ind i scrubberanlægget, og på den måde kan biogassen løbende blive opgraderet til naturgaskvalitet.

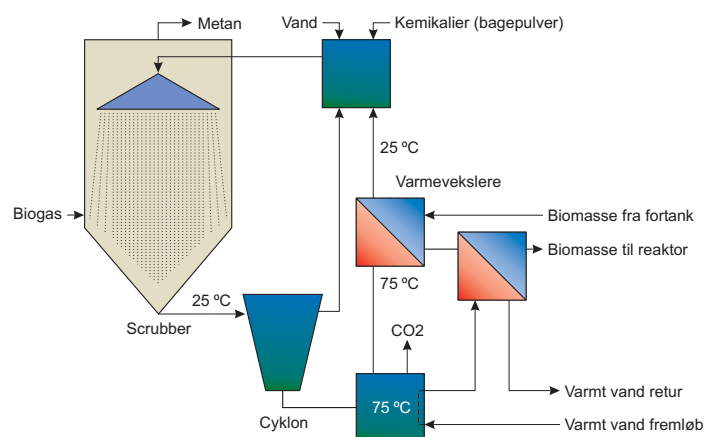
Ifølge Bjørn Hjortshøj Andersen fra Agrotech findes der flere muligheder for at opfange CO<sub>2</sub> i et scrubberan-

læg, men i de fleste tilfælde anvendes der kemikalier, som er relativt dyre.

– Det koster typisk omkring 1 krone at rense en kubikmeter biogas for CO<sub>2</sub> i sådan et anlæg, men vi satser på at komme ned på omkring det halve, forklarer Bjørn Hjortshøj Andersen. Han er helt på det rene med, at det er lidt af en udfordring – ikke mindst fordi der kun er 100.000 kroner til forsøget fra Rådet for Teknologi og Innovation og et tilsvarende beløb fra Thorsø Biogas.

– Det gælder om at være kreativ, finde de billigste materialer og sørge for, at så meget som muligt af energien bliver genbrugt, siger en optimistisk Bjørn Hjortshøj Andersen.

Anlægget hos Thorsø Biogas vil blive testet i løbet af efteråret, og hvis alt går vel, vil de første resultater være klar omkring årsskiftet. ■



*Principskitse af scrubberanlæg, hvor CO<sub>2</sub>-indholdet fjernes ved hjælp af bagepulver.*

## H2 Logic investerer millioner i ny brintteknologi

**Danske H2 Logic og en række europæiske samarbejdspartnere investerer 145 millioner kroner i afprøvning af brintbiler og tankstationer i Oslo.**

Projektet går under navnet "H2MOVES Scandinavia" og har opnået EU-støtte på 58 millioner kroner samt bidrag fra det danske EUDP-program og det Norske TRANSNOVA-program. H2 Logic skal levere brændselsceller til en række køretøjer i projektet samt forestå etableringen af en brint-tankstation i Oslo og en mobil tankstation til brug i Europa.

Danmark og Skandinavien har siden 2006 samarbejdet om en fælles vision, der skal sikre området som et af de første i verden, hvor brintbiler introduceres til markedet omkring 2015. Indtil nu er syv tankstationer i drift i Skandinavien, og yderligere tre stationer er under etablering, heraf en i Holstebro.

Med "H2MOVES Scandinavia" er første milepæl nået for samarbejdet, idet både EU og de internationale bilproducenter vil afprøve brintbiler i området. I projektet skal 17 brændselscellebiler testes i Oslo, og der skal etableres en stor tankstation i byen. Bilerne skal efterfølgende på



foto: h2logic

rundtur i Europa sammen med en mobil tankstation for at formidle projektets resultater og perspektiverne inden for brint til transport.

H2 Logic skal levere brændselsceller til fem bybiler i projektet fra THINK samt forestå etableringen af begge tankstationer. De resterende biler leveres af Daimler og FIAT. Hydrogen Link Danmark deltager i projektet med henblik på at sikre koblingen til Danmark.

Sidste år indgik de større bilproducenter en hensigtserklæring om at arbejde for en markedsintroduktion

*Tankstation til brint fra H2 Logic, der nu skal etablere en tankstation i Oslo og en mobil tankstation til brug i Europa.*

af brintbiler fra 2015, hvor det årlige produktionsvolumen skal op på et par hundrede tusinde køretøjer. Og senest har Toyota og KIA annonceret, at man forventer at kunne sælge en brintbil i 2015 for cirka 300.000 kroner. Med den danske afgiftsfritagelse for brintbiler vil det gøre bilen konkurrencedygtig.

I Europa tegner Tyskland til at blive et af de helt store markeder for moderne brintteknologi. Sidste år indgik de ledende energiselskaber således et samarbejde kaldet "H2Mobility", der blandt andet indebærer etablering af op til 1.000 tankstationer frem mod 2017. Initiativet er bakket op af de tyske myndigheder, som har afsat op imod 9 milliarder kroner til både brint- og batteribiler i perioden.

Kilde: [www.h2logic.dk](http://www.h2logic.dk). ■

## Lastbil til biogas og biodiesel

**På IAA-messen i Hannover sidst i september præsenterer Volvo en lastbil, der både kan køre på metangas og biodiesel.**

Fremtidens transport skal være holdbare både hvad angår miljø og økonomi. Det er Volvos budskab på IAA-messen i Hannover den sidste uge i september, hvor virksomheden præsenterer en Volvo FM med en 13-liters motor, der kører på både metangas og diesel.

Volvo er den første lastvognsproducent i verden, der kan levere en teknologi, hvor man kombinerer dieselmotorens høje virkningsgrad med gasdriftens fordele. I sammenligning med tidligere generationers gasmo-



Foto: Volvo

torer er virkningsgraden forøget med 30-40 procent.

– Med en gasdrevne Volvo FM viser vi, at gas ikke længere er begrænset til bytrafik men også er ideel til transport over længere distancer, siger Lars Mårtensson, der er miljøchef hos Volvo Trucks.

Kilde: [www.volvotrucks.com](http://www.volvotrucks.com)

### Flydende biogas

Den svenske energistyrelse har for nylig bevilget 100 millioner svenske kroner til 11 forskningsprojekter inden for biogas og syntesegas. En stor del af midlerne går til at forske i, hvordan man mest effektivt kan bruge gassen i transportsektoren.

To af projekterne handler om at bruge flydende biogas til transport. FordonsGas har således fået 2,4 millioner kroner til at opføre en tankstation til flydende biogas, og Business Region Göteborg har fået 19 millioner kroner til et projekt, hvor man vil anvende flydende biogas i 67 biler.

Kilde: [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

### Udvikling af SOEC brændselsceller

**Titel:** Holdbare fastoxid elektrolyse celler og stakke

**Ansvarlig:** Risø DTU, Peter Vang Hendriksen, e-mail pvhe@risoe.dtu.dk, ☎ 4677 5725

**Sagsnr.:** FORSKEL-10045

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 4.994.000 kroner

Højtemperaturelektrolyse er en lovende teknologi til energilagring eller til produktion af syntetiske brændsler. Udviklingen af en konkurrencedygtig teknologi baseret på keramiske elektrolyseceller (SOEC) er en stor opgave, som kun kan udføres ved en koordineret indsats over adskillige år. Formålet med dette projekt har været at bidrage væsentligt til udviklingen af teknologien ved at adressere de mest kritiske områder.

Projektet har haft fokus på de væsentligste degraderingsmekanismer, der begrænser levetiden af de mest kritiske komponenter i en SOEC-stak, samt udvikling og demonstration af komponenter med øget holdbarhed. Med Risø DTU's nyeste keramiske celler er meget små degraderingsrater blevet demonstreret ved elektrolyse under relativt milde betingelser, men under mere barske betingelser forekommer der stadig degradering. Det sker især på iltelektroden, mens hydrogenelektroden og stakkomponenterne i mindre grad bidrager til den overordnede degradering. Ved beskyttelse med belægninger er det demonstreret, at forbindelsesplader af forskellige speciallegeringer kan bruges til elektrolyse ved 850 °C.

Sammenfattende er adskillige mekanismer, der begrænser celle- og staklevetiden, blevet kortlagt i projektet, så det nu er muligt at identificere fokusområderne for den fremtidige forskning og udvikling.

### Stirling-kraftvarmeanlæg til biobrændsler

**Titel:** Fleksibelt 75 kWel stirling-kraftvarmeanlæg til biobrændsler med lave emissioner og høj brændselsudnyttelse

**Ansvarlig:** Stirling Danmark ApS, Mads Brix Nielsen, e-mail mbn@stirling.dk, ☎ 8818 4800

**Sagsnr.:** FORSKEL-6437

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 3.420.000 kroner

Projektets formål har været udvikling og demonstration af et fleksibelt biomassebaseret kraftvarmeanlæg på 75 kW el med høj virkningsgrad og lave emissioner.

I projektet er der udviklet en ny motortype kaldet E-motoren. Det nye design bygger dels på driftserfaringer fra de foregående motorer, dels på testkørsler med den nye motor. E-typen anvendes i dagens kommercielle anlæg og er kendetegnet ved en bedre ydelse, øget driftssikkerhed samt mere enkle serviceprocedurer end ved de tidligere motorer.

I samarbejde med Danstoker og Dansk Gasteknisk Center er der udviklet et nyt brændkammer og en ny brænder til forbrænding af forgasningsgas – det såkaldte SEDIOX brændkammer, der står for Stirling Engine Diluted Oxidation. SEDIOX virker ved FLOX-princippet, hvor der anvendes meget høje gashastigheder ved flammen, hvilket resulterer i høj opblanding i kammeret, lavere maksimaltemperaturer og dermed lavere NOx-emissioner samt længere levetid for kritiske

komponenter. Brændkammeret er produceret og vil blive testet i de kommende måneder.

På Svanholm Gods er der installeret et komplet stirlingmotor-anlæg med en 600 kW modstrømsforgasser. Til anlægget er der udviklet et helt nyt styresystem til fuldautomatisk drift. Anlægget har opnået cirka 1.500 driftstimer og produceret 43 MWh el.

### Optisk måling af gassammensætning og temperatur



Foto: Risø DTU

*Optisk måleprobe indsat i kedel til måling af gassammensætning og temperatur med høj tidsopløsning.*

**Titel:** New IR-UV gas sensor to energy and transport sector

**Ansvarlig:** Risø DTU, Sønnik Clausen, e-mail sqcl@risoe.dtu.dk, ☎ 4677 4523

**Sagsnr.:** FORSKEL-7319

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 281.000 kroner

Projektet har haft til formål at udvikle en optisk metode til måling af et bredt udvalg af gaskomponenter i forbrændingsanlæg og motorer. Ved at kombinere infrarød (IR) og ultraviolet (UV) spektroskopi er det muligt at måle alle gasser samtidigt, hvilket er umuligt ved en traditionel måling i en gasanalysator.

I projektet er der fremstillet en særlig vandkølet måleprobe, som gør det muligt at måle i flammer og kedler med IR og UV lysledere. Systemet er testet på Risø DTU's højtemperaturgascelle. Her er måleresultater med kendt gassammensætning og temperatur blevet sammenholdt med værdier i literaturen og teoretiske modeller. Der er desuden arbejdet med at modellere data med egne teoretiske modeller, dels for at forbedre de teoretiske modeller, dels for at undersøge og reducere afvigelser mellem teori og målinger. Det vil i praksis give mere nøjagtige og pålidelige målinger.

Måleprobe og måleprincipper er testet med et godt resultat på Avedøreværket, ligesom måleproben har været anvendt på Studstrupværket. Den udviklede måleprobe har desuden været udlånt til en R&D gruppe med henblik på måling af KCl ved forbrænding af biomasse.

Den erhvervede viden og ekspertise i projektet bliver nu udnyttet i andre energiforskningsprojekter.

### Keramiske brændselsceller på vej mod markedet

**Titel:** Keramiske brændselsceller på vej mod reelle anvendelser

**Ansvarlig:** Topsoe Fuel Cell A/S, Jens Ole Gulløv, e-mail jeog@topsoe.dk, © 4527 8308

**Sagsnr.:** ENS-64009-0035

**Tilskud fra:** EUDP

**Tilskud:** 21.200.000 kroner

Fastoxid brændselsceller giver mulighed for en både ren og effektiv produktion af elektricitet og varme med en meget bred vifte af forskellige brændselstyper. I dette projekt er der arbejdet med tre af de største udfordringer frem mod en kommende kommerialisering af teknologien:

1. På brændselscelleniveau er effektiviteten af cellen forøget, samtidigt med at omkostningerne ved fremstilling er nedbragt. Det er sket ved at optimere fremstillingsprocesserne, så der er mindre spild og frafald. Derudover er der anvendt billigere materialer, og endelig er der indført en ny generation af brændselsceller, der har mindre tab og dermed højere effektivitet.
2. På stakniveau er omkostningerne ved fremstilling bragt ned og produktionskapaciteten er forøget. Det er sket ved at effektivisere produktionen, hvorved overflødige og omstændelige arbejdsrutiner er fjernet eller optimeret.
3. På systemniveau er der udviklet nye koncepter inden for mikrokraftvarme og mobile hjælpeanlæg til tunge køretøjer. Der er udviklet to koncepter af kraftvarmeanlæg, der begge har vist tilfredsstillende resultater med hensyn til markedskrav og skalerbarhed. Inden for mobile hjælpeanlæg er forskellige løsninger blevet afprøvet, og det har vist sig muligt at anvende et system, der bruger diesel som brændstof. Endelig har der været arbejdet med et forsøgsanlæg på H.C. Ørstedsværket i samarbejde med DONG Energy Power A/S. Det har givet værdifulde erfaringer med design, opstart og drift af små kraftanlæg koblet direkte til elnettet.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Omkostningerne til produktionen af brændselsstakke er blevet reduceret ved blandt andet at effektivisere produktionen. Billedet viser en af de maskiner hos Topsoe Fuel Cell, der i dag anvendes til fremstilling af brændselsceller.

### BioNorm II



Foto: Torben Skøtt/BioPress

**Titel:** Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards

**Ansvarlig:** Teknologisk Institut, Jørgen Hinge, e-mail jorgen.hinge@teknologisk.dk, © 7220 1324

**Sagsnr.:** FORSKEL-7355

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 739.000 kroner

BioNorm II projektet er gennemført i et samarbejde mellem 25 partnere fra 11 lande. Energinet.dk har ydet dansk medfinansiering til EU-projektet, der er en opfølgning af BioNorm projektet, som blev afsluttet i 2004. Projektet er et led i det arbejde, der skal gøre det muligt at indføre standarder for faste biomasser, så det bliver lettere at handle med biobrændsler over landegrænserne.

I projektet er der udviklet udstyr og metoder, der kan bestemme mængden af urenheder i biomassen, og i hvor høj grad biomassen har tendens til at danne "bro i fyringsanlægget". Der er udarbejdet procedurer for kvalitetsværktøjer, og endelig er der udført forbrændingstests på en lang række brændsler i henhold til den europæiske standard EN303-5.

Projektets resultater bliver nu anvendt i forbindelse med standardiseringsarbejdet i CEN. Projektets hjemmeside er [www.bionorm2.eu](http://www.bionorm2.eu).

### DMFC brændselsceller

**Titel:** DMFC MEA og stak udvikling

**Ansvarlig:** IRD Fuel Cells A/S, Steen Yde-Andersen, e-mail sya@ird.dk, © 6363 3000

**Sagsnr.:** ENS-33032-0145

**Tilskud fra:** EFP

**Tilskud:** 6.472.000 kroner

Formålet med projektet var at udvikle næste generation DMFC brændselsceller, der anvender en blanding af metanol og vand som brændstof.

I projektet er der udviklet to brændselscellesystemer på 0,5 kW og 1,0 kW hos henholdsvis IRD Fuel Cells og Dantherm. Brændselscellerne har demonstreret en virkningsgrad på op til 30 procent for det samlede system. Resultaterne viser, at DMFC brændselscellerne opfylder de nationale målsætninger for området, og kan bruges til forskellige formål som nødstrømsanlæg, telekommunikation samt generatorer til opladning af batterier.

## Genopretning af biogasprocessen



Foto: Torben Skøtt/BioPress

**Titel:** Årsager til processtabilitet i biogasanlæg og strategier for forebyggelse og genoprettelse af processen

**Ansvarlig:** DTU Miljø, Irini Angelidaki, e-mail: [ria@env.dtu.dk](mailto:ria@env.dtu.dk), ☎ 4525 1429

**Sagsnr.:** ENS-33031-0029

**Tilskud fra:** EFP

**Tilskud:** 1.878.000 kroner

Biogasanlæg oplever jævnligt, at processen bliver hæmmet med det resultat, at gasproduktionen ophører helt eller delvist. Problemerne kan stå på i lang tid, da der mangler grundlæggende viden om årsagerne til hæmning af biogasprocessen, og hvordan problemerne kan afhjælpes.

I projektet er de hyppigste årsager til hæmning blevet kortlagt, og der er udviklet metoder til, hvordan processen bedst kan genoprettes. Forebyggelse er dog mindst lige så vigtigt, og her er det vigtigt at undgå:

- høj koncentration af ammoniak
- høj koncentration af langkædede fedtsyrer
- skumning i forlager- og rådnetanke
- temperaturforstyrrelser

Langt de fleste biogasanlæg supplerer tilførslen af gylle med fedtholdigt affald for at øge gasproduktionen. Fedt er imidlertid potentielt hæmmende for biogasprocessen, og høje koncentrationer af fedtholdigt affald kan til tider få processen ud af balance og i værste fald få den til at gå helt i stå.

Den mest anvendte strategi i den slags tilfælde går ud på at stoppe indpumpning af frisk biomasse og vente på, at processen stabiliserer sig selv, men resultaterne fra projektet viser, at det faktisk er den dårligste strategi. Det er en meget langsom proces, hvor der går for lang tid, inden koncentrationen af lavere fedtsyrer (VFA) falder til et passende niveau.

De bedste strategier er fortynding af biomassen med aktivt podemateriale fra en sund reaktor eller tilsætning af materiale, der kan absorbere fedt og olie (lipid). På den måde reduceres koncentrationen af langkædede fedtsyrer (LCFA), som er nedbrydningsprodukter fra olien. Andre muligheder er tilsætning af fibre, hvilket har nogenlunde den samme effekt som tilsætning af bentonit.

Projektet har endvidere vist, at biogasprocessen bliver mere robust over for hæmning, hvis den gentagne gange bliver belastet med oleat. Det stemmer overens med tidligere undersøgelser, som viste, at det var ophobning af fri LCFA, der var den hæmmende komponent, når mikrofloraen ikke i tilstrækkelig grad var tilvænnet lipid.

## HT-PEM brændselsceller til metanol

**Titel:** Integreret HPEM metanolreformer system til nødstrøms- og transportanvendelser

**Ansvarlig:** Aalborg Universitet, Søren Knudsen Kær, e-mail [skk@et.aau.dk](mailto:skk@et.aau.dk), ☎ 9940 3300

**Sagsnr.:** ENS-33033-0211

**Tilskud fra:** EFP

**Tilskud:** 3.500.000 kroner

Projektet har haft til formål at udvikle en integreret enhed, der kan konvertere metanol til brint, hvorefter brinten kan anvendes i en HT-PEM brændselscelle. Anvendelsen af metanol som energibærer vil kunne sætte skub i udbredelsen af brændselsceller til transportsektoren, da metanol kan distribueres på samme måde som benzin og diesel.

I projektet er der udviklet værktøjer, som giver mulighed for hurtigt at kunne designe stakke af brændselsceller til forskellige markeder og anvendelser. Derudover er der udviklet to reformere, der kan konvertere metanol til brint: Den ene er målrettet transportsektoren, mens den anden er velegnet til backup systemer. Effekten for de to enheder er på henholdsvis 3 kW og 750 W.

Teoretiske studier har vist, at under ideelle betingelser kan virkningsgraden for et metanoldrevet system overstige virkningsgraden for et system, der anvender brint. I praksis opnås sammenlignelige virkningsgrader blandt andet på grund af tab ved varmeveksling i metanolssystemet. I den realiserede prototype nåede virkningsgraden op på 44 procent. Det forventes dog, at mindre ændringer af systemet kan hæve virkningsgraden til omkring 50 procent.

Teknologien har et stort potentiale inden for backup-systemer, men det er nødvendigt at forbedre holdbarheden, før systemet kan anvendes kommercielt. Til transportsektoren har teknologien ligeledes et stort potentiale, da det kan forlænge elbilernes aktionsradius markant. I den ombyggede elbil var det største problem spændingsudsving i batteripakken. Dette blev løst ved at installere en konverter mellem brændselscellen og batterierne.

Aktiviteterne i dette projekt er fortsat i HI-EPS-projektet og COBRA-projektet, der begge er støttet af EUDP.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

*Brændselsceller, der kan anvende metanol som brændstof, er blandt andet blevet testet i en 7-personers Fiat Scudo. Billedet er fra indvielsen af Energibyen Frederikshavn.*

### Online måling af biogasprocessen

**Titel:** Anvendelse af online fedtsyre sensor for at kontrollere og optimere anaerob processen for lav-omkostnings-biogas fra gyllen

**Ansvarlig:** DTU Miljø, Irimi Angelidaki, e-mail [ria@env.dtu.dk](mailto:ria@env.dtu.dk), ☎ 4525 1429

**Sagsnr.:** FORSKEL-6415

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 1.661.000 kroner

DTU Miljø har udviklet en sensor, der kan registrere koncentrationen af forskellige fedtsyrer (VFA) i en biogasreaktor, så driftspersonalet får bedre mulighed for at overvåge og kontrollere biogasprocessen. En prototype af sensoren, der er baseret på gas-kromatografi, er blevet testet på et pilotanlæg i Lundtofte, tæt på Danmarks Tekniske Universitet.

Resultaterne fra forsøgsperioden har været meget tilfredsstillende. Sensoren er tilstrækkeligt følsom og pålidelig til at registrere reaktorens "sundhedstilstand", og de indsamlede data kan bruges til fuldautomatisk styring af pilotanlægget.

I løbet af projektperioden er design og konstruktion af systemet blevet forbedret indtil flere gange, men der er behov for yderligere forbedringer, før systemet kan anvendes på et fuldskalaanlæg.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

*Avedøreværket i København, hvor flere af forsøgene med det infrarøde kamera blev foretaget.*

brænding på risten, bedre udnyttelse af ristens areal, mindre CO-emmission og mindre slaggdannelse.

Det lykkedes at udvikle et infrarødt kamera, som kunne måle og beregne temperaturer for bestemte zoner på risten. Kameraet blev installeret på Avedøreværkets biokedel, og her var det i lange perioder i stand til at tage fine online billeder og beregne temperaturværdierne. Det lykkedes også at ændre temperaturprofilen på risten på basis af data fra kameraet, men der var store problemer med slaggdannelse på kedlens indervægge. Til tider dækkede det for kameraet, og i lange perioder kunne konceptet derfor ikke køre ubevogtet.

Det lykkedes således ikke inden for projektets rammer at konkludere, om en mere jævn temperaturprofil på risten vil medføre bedre forbrænding eller ej.

### Fastoxid-brændselscelle forskning og udvikling II

**Titel:** Fastoxid-brændselscelle forskning og udvikling II

**Ansvarlig:** Risø DTU, Afdelingen for Brændselsceller og Faststofkemi, Mogens Mogensen, e-mail [momo@risoe.dtu.dk](mailto:momo@risoe.dtu.dk), ☎ 4677 5726

**Sagsnr.:** FORSKEL-10065

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 12.081.000 kroner

Det overordnede mål for det danske program for fastoxid-brændselsceller (SOFC-program) er at gøre den danske teknologi inden for området kommercielt tilgængelig.

Nærværende projekt har haft til formål at tilvejebringe de fortsatte forsknings- og udviklingsresultater, der er nødvendige for at forbedre cellekomponenterne, så de kan anvendes i industrien.

Projektets hovedmål var en degraderings hastighed for cellerne på mindre end én procent per 1.000 timer med 0,75 A/cm<sup>2</sup> ved 750 °C. Desuden skulle de eksisterende testfaciliteter opgraderes, så det blev muligt at indhente mere detaljeret viden fra de enkelte test. Projektmålene var beskrevet detaljeret i form af 15 milepæle, der stort set alle er nået.

Resultatet er, at otte teststande i dag er fuldt automatiseret, og der er sket gode fremskridt mod de overordnede mål. Resultatet af arbejdet i projektperioden er blevet præsenteret internationalt via mere end 25 publikationer.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

*Forsøg med online måling af biogasprocessen på pilotanlæg i Lundtofte. Fra venstre er det Irimi Angelidaki, Kanokwan Boe og Hector Gracia.*

### Optimering af risteforbrænding med kamera

**Titel:** Optimering af risteforbrænding ved hjælp af IR-kamera

**Ansvarlig:** DONG Energy A/S, Helge Didriksen, e-mail [heldi@dongenergy.dk](mailto:heldi@dongenergy.dk), ☎ 4480 6430

**Sagsnr.:** ELKRAFT-3205; FORSKEL-6522

**Tilskud fra:** PSO

**Tilskud:** 1.000.000 kroner

Der har været to formål med projektet: Det ene har været udvikling af et infrarødt kamera, der kan måle temperaturen på risten i en halmfyret kraftværkskedel. Det andet formål har været udvikling af et system, der kan regulere forbrændingsluften på risten ud fra temperaturmålingerne. Der har været en forventning om, at det vil kunne medføre en bedre for-

### Partnerskab for biobrændstoffer

**Titel:** Konsolidering og udbygning af partnerskab for biobrændstoffer

**Ansvarlig:** Inbicon, Michael Persson, e-mail miper@dongenergy.dk, © 9955 2047

**Sagsnr.:** ENS-63011-0036

**Tilskud fra:** EUDP

**Tilskud:** 625.000 kroner

Partnerskabet for 2. generations biobrændstoffer blev stiftet ultimo 2006 med henblik på at iværksætte aktiviteter på området i en treårig periode. Ved afslutningen bestod partnerskabet af Energiministeriet, Miljøministeriet, DONG Energy/Inbicon, Novozymes A/S, Danisco A/S, Biogasol A/S, Agro Tech, Landbrugsrådet, Solum Gruppen, Statoil A/S og Aalborg Universitet. Partnerskabet blev ledet af tidligere departementschef Knud Larsen fra Videnskabsministeriet, og sekretariatet var placeret i innovationscentret FORA under Erhvervs- og byggestyrelsen.

Siden 2006 har partnerskabet taget en række initiativer for at kvalificere debatten om biobrændsler i Danmark. I 2007 var partnerskabet medarrangør af konferencen "Biomassens veje og vildveje", og i 2009 deltog man i udarbejdelsen af en hvidbog og var medarrangør af konferencen "Perspektiver for biobrændstoffer i Danmark". Partnerskabet stod også bag analysen "Samfundsøkonomiske aspekter ved produktion af 2. generations bioethanol", og arbejdet blev afsluttet med en række anbefalinger til regeringen og folketinget. Nævnte materialer kan hentes på partnerskabet hjemmeside [www.biobrændstof.com](http://www.biobrændstof.com).

Udover nævnte analysearbejde etablerede partnerskabet rammerne for en aftale, der gjorde det muligt at fremstille og sponsorere verdens hidtil største enkeltleverance af 2. generations bioethanol til de biler, Udenrigsministeriet benyttede under COP-15 topmødet. I aftalen deltog Danisco, Inbicon, Novozymes og Statoil.



Foto: René Tronborg, Novozymes

Partnerskabet var med til at sikre, at en stor del af de biler Udenrigsministeriet benyttede under COP-15 topmødet, kørte på 2. generations bioethanol. Billedet er fra underskrivelsen af aftalen mellem partnerskabet og Udenrigsministeriet. Det er formand Knud Larsen i midten flankeret af repræsentanter fra de deltagende virksomheder.

### Markedspotentiale for VE-biler



Foto: Michael Jensen, mjl@world-photo.dk

Forbrugerne er mere interesserede i brintbiler, end biler der kører på biobrændstoffer, viser et projekt fra DTU Transport.

**Titel:** Markedspotentiale for biler, der kører på energi fra vedvarende energikilder

**Ansvarlig:** DTU Transport, Linda Christensen, e-mail lch@transport.dtu.dk, © 4525 6525

**Sagsnr.:** ENMI-2104-05-0049

**Tilskud fra:** Det Strategiske Forskningsråd

**Tilskud:** 3.000.000 kroner

Hovedformålet med projektet har været at undersøge, hvor stor efterspørgslen vil være efter personbiler, der kan bruge en eller anden form for vedvarende energi eller har et reduceret energiforbrug – det vil sige en elbil, en brintbil, en hybridbil eller en bil drevet af biodiesel.

I projektet er der udviklet en økonometrisk model, der kan forudsige sammensætningen af nybilsalget på bilmodeller. Modellen er baseret på web-interviews med folk, der har købt ny bil inden for de sidste tre måneder. De er kontaktet per brev og opfordret til at svare på et specielt udformet spørgeskema, hvor de skulle vælge imellem en bil, som den de har købt og en alternativ bil afhængigt af blandt andet bilens pris og driftsomkostninger.

Som led i modeludviklingen er betalingsviljen belyst for de fire typer af biler set i forhold til konventionelle biler. Analyserne viser, at folk har større betalingsvilje over for biler, der bruger vedvarende energi end for konventionelle biler. Størst er interessen for brintbiler og mindst for biler drevet af biodiesel. Forskellen afspejler imidlertid, at reduktionen i miljøbelastningen er større for brint end for biodiesel i følge de oplysninger, respondenterne har fået. Resultaterne viser helt konsistent, at betalingsviljen over for at halvere CO2-udslippet er på 25.000-35.000 kroner uanset brændstoftypen. Denne betalingsvilje kan dog ikke fortolkes sådan, at den enkelte bilkøber vil betale så meget mere for en bil, der kører på biodiesel, men snarere at folk synes, det er acceptabelt, at samfundet betaler så meget ekstra for at reducere CO2-belastningen.

Læs mere på [www.cowiprojects.dk/bilvalgsp/Index.htm](http://www.cowiprojects.dk/bilvalgsp/Index.htm).

**Fib** – udgives med støtte fra Energinet.dk og Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP), der administreres af Energistyrelsen. Der udkommer fire tidsskrifter og otte nyhedsbreve om året. Gratis abonnement kan tegnes via hjemmesiden [www.biopress.dk](http://www.biopress.dk) eller ved henvendelse til BioPress på telefon 8617 8507.

**BioPress** bringer løbende nyheder fra forskernes verden. Følg med på [www.biopress.dk](http://www.biopress.dk), hvor du kan downloade tidsskrifter og nyhedsbreve.

**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:**  
Torben Skøtt/BioPress

**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 december 2010. Deadline for redaktionelt stof er den 15. november 2010.

## Raffineret affaldsbehandling



Foto: Torben Skøtt/BioPress

**Erfaringerne med RENescience-projektet på Amagerværket er så positive, at DONG Energi er parat til at etablere kommercielle anlæg fra 2013.**

– Vi er blevet overrasket over, hvor godt anlægget fungerer, og hvor god økonomien er – det ser meget lovende ud.

Sådan konkluderede Georg Ørn-skov Rønsch fra DONG Energy på Energinet.dk's biogaskonference, hvor han holdt et indlæg med titlen "RENescience – et affaldsraffineri".

Projektet er baseret på, at husholdningsaffald behandles i et affaldsraffineri, så man får en biologisk fraktion, der kan bruges i biogasanlæg og en fraktion med uorganisk materiale, hvoraf en del kan genbruges, mens andet kan bruges som brændsel på kraftværkerne.

Metoden er inspireret af DONG Energys erfaringer med forbehandling af halm og går ud på, at affaldet koges og behandles med enzymer, hvorved det biologiske materiale udskilles i en flydende fraktion. Omkring 99 procent af biomassen kan på den måde bruges til fremstilling af biogas. Det er mere end ved kildesortering af husholdningsaffald, hvor 25-30 procent af biomassen går tabt.

Siden december 2009 har et pilot-anlæg været i drift på Amagerværket, og erfaringerne herfra er så positive, at DONG Energy nu har planer om at bygge et anlæg med en kapacitet på 8-10 tons i timen eller cirka ti gange så meget, som pilotanlægget kan præstere.

Det nye anlæg skal stå klar i 2013, og hvis alt går vel, kan det meget vel blive prototypen på fremtidens anlæg til affaldshåndtering. Sammenlignet med traditionel affaldsforbrænding, giver affaldsraffineri nemlig en lang række fordele i form af:

- fleksibel elproduktion
- høj energieffektivitet
- udnyttelse af næringsstoffer
- genbrug af glas og metal
- bedre miljø
- større brugervenlighed

Og det er ikke engang nogen dyr løsning. Metoden er fuldt ud konkurrencedygtig med traditionel affaldsforbrænding, blandt andet fordi affaldet ikke skal trykkoges, som det er tilfældet med halm. En lille halv time ved 100 grader er tilstrækkelig.

Energinet.dk har støttet RENescience-projektet med 29 millioner kroner ud af et samlet budget på 55 millioner.