



DONG Energy satser på forgasning	4
Billigere og bedre kedelanlæg	6
Algeforskningen får sit eget center	7
Ekspert i forbrænding og forgasning	8
Bioenergi kan dække verdens energiforbrug	10
Biogas kan dække ti procent af energiforbruget	12
Svenskerne først med biodiesel fra træ	14
Bioenergiforskning i Kina	16
Afsluttede projekter	20
Pilletest i stor skala	24

Forgasning af restprodukter kan blive et hit

Rentabiliteten i den såkaldte LT-CFB forgasser er nu så god, at teknologien er tæt på et kommercielt gennembrud. Det viser en undersøgelse, som FORCE Technology har gennemført i samarbejde med Danish Fluid Bed Technology og en række danske virksomheder.

Af Jesper Cramer

LT-CFB står for Lav Temperatur Cirkulerende Fluid Bed. Det er en særlig type forgasningsanlæg, som Danish Fluid Bed Technology har stået i spidsen for at få udviklet. Her omsættes biomasse til gas ved en forholdsvis lav temperatur, så man får mulighed for at fraseparere aggressive stoffer som alkali og klorid. Anlægget er derfor særligt velegnet til de mere problematiske biomasser som halm samt restprodukter fra landbruget og fødevarerindustrien.

Alt tyder på, at LT-CFB er en af de teknologier, vi kommer til at høre

meget mere til i fremtiden. DONG Energy har som det første selskab taget konceptet til sig, og nu viser en ny undersøgelse, at en række virksomheder, der arbejder med fødevarer og håndtering af affaldsprodukter, også vil kunne drage nytte af teknologien.

Det er FORCE Technology, der har gennemført undersøgelsen i samarbejde med Danish Fluid Bed Technology og med støtte fra Energinet.dk. I projektet har man set på, hvordan teknologien kan indpasses på tre konkrete danske virksomheder, der blev udvalgt med henblik på, om

- virksomhedernes restprodukt var egnet til forgasning i LT-CFB
- virksomhedens infrastruktur og energiforbrug var egnet til et moderne forgasningsanlæg
- tilbagebetalingstiden var attraktiv for virksomheden
- virksomhedernes interesse for at medvirke i forundersøgelsen og bidrage med de nødvendige data og informationer, var tilstrækkelig stor.



foto: torben skøtt/biopress

Procesingenør Svend Andersen fra CP Kelco foran en bunke spildevandsslam fra fabrikkens rensningsanlæg.

► Projektet prioriterede herefter de tre udvalgte virksomheder, så den mest lovende anvendelse blev undersøgt meget grundigt, mens studiet af de to øvrige i stigende grad baserede sig på generelle resultater fra det første studium. Det tre virksomheder og deres restprodukter er i prioriteret rækkefølge:

1. CP Kelco, restprodukter fra produktion af carragenan og pektin
2. DAKA, kød- og benmel fra egen produktion
3. Østkraft, afgassede gyllefibre – senere ændret til halm.

CP Kelco

På fabrikken i Lille Skensved producerer CP Kelco gelerings-, fortyknings- og stabiliseringsmidlerne carrageenan og pektin ud fra henholdsvis tang og citrussskaller. Restprodukterne fra produktionen består af et fiberholdigt biologisk materiale, der kan anvendes som brændsel i et

LT-CFB-anlæg. Derudover kan anlægget behandle en restfraktion fra virksomhedens spildevandsanlæg. I dag bliver en væsentlig del af restprodukterne bortskaffet som affald.

FORCE Technology har analyseret prøver af brændslet og asken for at afklare, om restprodukterne egner sig

til forgasningsanlægget. Resultaterne viser blandt andet, at de skal afvandes og tørres før forgasningen for at få et lagerstabil produkt. Damp fra CP Kelcos eksisterende kedler kan levere energien til tørreprocessen, og den resterende varme herfra kan bruges til produktion af varmt vand.

Gassen fra forgasningsanlægget skal afkøles til cirka 300 °C og filtreres, før den kan indfyres i virksomhedens eksisterende naturgasfyrede dampkedel. Forgasningsgassen vil udgøre cirka 18 procent af dampkedlens brændselsforbrug. Ud over besparelsen til indkøb af naturgas vil der også være tale om en væsentlig reduktion af CO₂-udledning.

Elektronisk nyhedsbrev

Få flere og hurtigere nyheder om forskning i bioenergi. Den trykte udgave af Forskning i Bioenergi, der udkommer fire gange om året, suppleres af et elektronisk nyhedsbrev en gang om måneden. Klik ind på www.biopress.dk og få et gratis abonnement på den trykte og/eller elektroniske udgave af bladet.

Biopress
 ☎ 8617 8507
www.biopress.dk

Betalt på fire år

Til den økonomiske vurdering har FORCE Technology udarbejdet en skalerbar økonomimodel, som bygger på mange års erfaringer fra rådgivning og projektarbejde med prisrelationer i bioenergi og affaldssektoren.

Modellen beregner projektets rentabilitet ud fra følgende input:

- sparede udgifter til bortskaffelse af restprodukterne og til køb af naturgas
- indtægt af egen el-produktion baseret på forgasningsgas
- indtægt af værdi af CO₂-kvoter
- udgifter til drift- og vedligeholdelse
- udgifter til statsafgifter
- investering i maskinudstyr og bygninger
- finansieringsomkostninger.

Modellen tager hensyn til ekstra vedligeholdelsesomkostninger, som man må forvente for et 1. generationsanlæg.

Det er vigtigt, at kommunen ikke kategoriserer forgasningsanlægget som et affaldsforbrændingsanlæg. Virksomheden bør derfor i god tid kontakte myndighederne for at få afklaret, om restprodukterne vil blive karakteriseret som biobrændsel eller som affald.

FORCE Technology har udarbejdet to scenarier for et anlæg hos CP Kelco:

I scenarium A udnytter anlægget hele mængden af restprodukter fra produktionen af carrageenan og pektin. Forgasseren har en indfyret effekt på 10,3 MW, og den simple tilbagebetalingstid er beregnet til 4,1 år.

Scenarium B har en lidt længere tilbagebetalingstid på 5,7 år. Den indfyrede effekt er reduceret til 6,0 MW, da anlægget ikke udnytter den samlede mængde restprodukter fra fremstilling af pektin.



foto: torben skøtt/biopress

Restprodukter fra CP Kelcos produktion af carrageenan.

nytte afgassede gyllefibre fra biogas-anlægget i Åkirkeby. I løbet af projektet viste det sig imidlertid, at denne affaldsfraktion ikke var til rådighed for Østkraft. I stedet valgte projektet at fokusere på halm som brændsel til et LT-CFB-anlæg, som skal levere gas til Østkrafts blok 5. Anlægget har ikke behov for et afvandings- og tørringsanlæg. Tilbagebetalingstiden for det samlede system bliver i Østkrafts tilfælde mindre end fem år.

DAKA

DAKA behandler affald fra slagterier og landbrug og producerer en række værdifulde produkter til foderindustrien, fødevarerindustrien samt energisektoren.

Et af restprodukterne fra produktionen er kød- og benmel. Hvis DAKA vælger at investere i et LT-CFB-anlæg, vil det kræve yderligere investeringer i en gaskedel og en turbine/generator, mens anlægget ikke har behov for et afvandings- og tørringsanlæg. Tilbagebetalingstiden for det samlede system bliver i DAKA's tilfælde på omkring ni år.

Østkraft

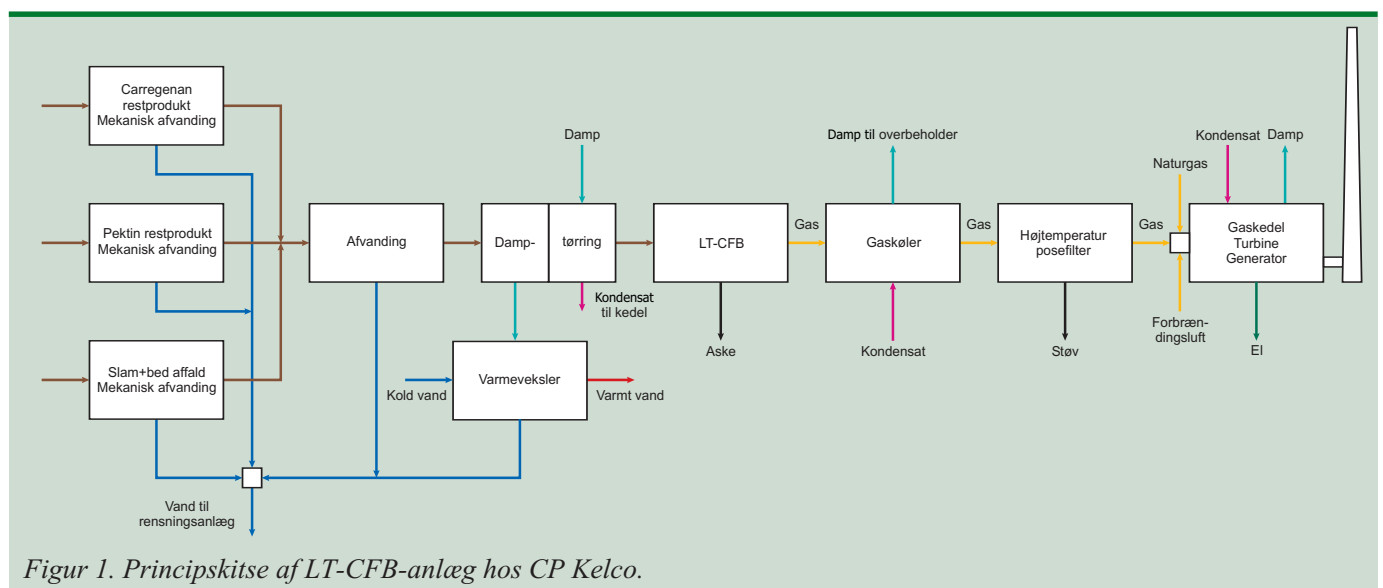
Østkraft blev valgt, fordi man antog, at anlægget hovedsageligt kunne be-

Fremtidsperspektiver

Med DONG's overtagelse af LT-CFB-teknologien er kommercialiseringen af mange års udviklingsarbejde en realitet. DONG planlægger at opføre et 6 MW anlæg med halm som brændsel ved Asnæsværket. Projektforslagene om etablering af industrielle anlæg hos for eksempel CP Kelco og DAKA indgår i DONG's overvejelser om opskalering og kommercialisering af teknologien.

Undersøgelsen er gennemført med støtte fra Energinet.dk under PSO-projekt 2007-L-7504, "Anvendelsesmuligheder og opfølgning".

Jesper Cramer er senior manager hos FORCE Technology i Brøndby, e-mail jcr@force.dk. ■



Figur 1. Principkitse af LT-CFB-anlæg hos CP Kelco.

DONG Energy satser på forgasning

Teknologien til forgasning af halm og andre restprodukter er nu så veludviklet, at DONG Energy satser på den model til håndtering af de mere problematiske biobrændsler. Første skridt bliver etablering af et 6 MW demonstrationsanlæg ved Asnæsværket i Kalundborg.

Af Peder Stoholm

Termisk forgasning handler i princippet om at kunne omdanne kulstofholdige produkter i form af for eksempel biomasse til brændbar gas.

En blandt mange muligheder er at bruge en såkaldt LT-CFB forgasser, hvor biomassen omsættes til gas ved en forholdsvis lav temperatur. Derved kan man fraseparere de aggressive stoffer som alkali og klorid og således udnytte den mere problematiske biomasse, der ikke er velegnet til afbrænding i kedelanlæg.

LT-CFB forgasseren har en enkel udformning og er nem at opskallere, men den kan være problematisk til motordrift på grund af et højt tjæreindhold i gassen. Til eksisterende kraftværker kan det imidlertid være en oplagt løsning, da det giver mulighed for at

- opnå en høj elvirkningsgrad, som er kendetegnende for de store kraftværker.
- udnytte en lang række restprodukter fra landbruget og industrien, som ikke egner sig til kedelanlæg.
- udnytte en række værdifulde næringsstoffer, der opkoncentreres i asken fra forgasningsanlægget.
- fjerne tungmetaller og miljøfremmede stoffer fra biomassen.
- udnytte asken i cementindustrien, selv ved en høj andel af biomasse i forhold til kul.

Anvendelse af gassen på kulfyrede kraftværker var oprindeligt og vil formentlig mange år endnu være det primære sigte med forgasseren, men der er også andre muligheder, som kan være interessante. Det kan blandt an-



foto: torben skott/bioprogress

Asnæsværket ved Kalundborg, hvor der nu skal opføres et 6 MW forgasningsanlæg til halm og andre restprodukter fra landbruget og industrien.

det være udnyttelse af gassen i en eksisterende naturgasfyret kedel eller anvendelse af gassen i et helt nyt industrielt kraftvarmeværk som omtalt på de foregående sider.

Udvikling af teknologien

Udvikling af LT-CFB forgasseren startede i sin tid med et 50 kW forsøgsanlæg på DTU i 1999. Næste fase blev etablering af et 500 kW pilotanlæg, som blev brugt til forsøg med en række forskellige biobrændsler, der havde vist sig at volde problemer i almindelige kedelanlæg.

Erfaringerne med 500 kW-anlægget var så positive, at der blev taget initiativ til at skitsere et 5 MW demonstrationsanlæg, men opgaven med at få etableret anlægget måtte udskydes på ubestemt tid. De påtænkte brændsler i form af spildevandsslam, husdyrgødning og fibergødning blev nemlig karakteriseret som affald, og dermed ville anlægget falde ind under "hvile-i-sig-selv"princippet. En potentiel anlægsvært ville således aldrig kunne få et overskud ved at etablere anlægget, men ville hæfte for et underskud, hvis et eller andet gik galt.

Det oprindelige 50 kW forsøgsanlæg på DTU er i dag skrottet, og i stedet er der etableret et nyt 100 kW forsøgsanlæg, der har lettet adgangen til den videre procesudvikling. Anlægget

er mere mobilt end det oprindelige forsøgsanlæg, og det giver mulighed for at flytte anlægget ud til for eksempel rensningsanlæg, hvor man bedre kan lave forsøg med spildevandsslam. Mobiliteten er også en fordel i relation til en nært forestående flytning af forsøgsanlægget til Risø.

Afprøvede brændsler

LT-CFB forgasseren har vist sig at være utrolig fleksibel, hvad angår valg af brændsel. I tidens løb har der således været gennemført forsøg med:

- træ, men kun kortvarigt da træbrændsler også kan indfyres direkte i kedelanlæg.
- flere slags halm, herunder halm med et betydeligt indhold af aske-, kalium og klor.
- flere slags gyllefibre fra biogas-anlæg.
- flere slags tørret gødning fra høns og svin.
- tørrede restfibre fra CP-Kelcos produktion af fortykkelsesmidler fra citruskaller og tang.

Forsøgenes varighed har været op til 2-3 døgn, og i alle tilfælde er der udelukkende benyttet almindelig sand som bed-materiale. Mulighed for længere driftstid uden udskiftning af bed-materialet eller tilførsel af additiver er påvist ved genbrug af bed-materiale

fra tidligere forsøg. At askesmelteproblemer alligevel har kunnet undgås, er usædvanligt for både fluid bed forgassere og -kedler. Kunsten består i at kunne styre temperaturen i forgasseren, så man aldrig kommer op på det niveau, hvor asken begynder at smelte.

I den nærmeste fremtid vil der være behov for at få afprøvet endnu flere biobrændsler, som kunne være velegnet i LT-CFB forgasseren. Det drejer sig blandt andet om forskellige typer græs, flerårige energiafgrøder, korn og frøafrens, spildevandsslam, restfibre fra sukkerproduktion, sorteret husholdningsaffald og fareklassificeret kødbenmel.

Endelig vil der være behov for at få afprøvet en række "udenlandske" brændsler som affaldsprodukter fra produktion af ris, the, bomuld, palmeolie og oliven. Der er således knapt den krog af verden, hvor LT-CFB forgasseren ikke vil kunne gøre nytte som et effektivt redskab til omdannelse af restprodukter til energiformål.

Øget gasrensning

Under de seneste forsøg med 100 kW-anlægget på DTU har det vist sig muligt at rense gassen i en cyklon, afkøle den til 300 °C og derefter foretage en yderligere rensning i et posefilter. Her er det vigtigt, at aske og tunge tjærestoffer ikke kondenseres i hverken køler eller filter.

Posefiltrering af den meget tjæreholdige gas åbner blandt andet mulighed for at anvende gassen i naturgasfyrede kedler og i kedler, der udelukkende er beregnet til forgasningsgas.

Endelig viser et kort forsøg med tjærekrakning af den filtrerede gas, at forgasseren også vil kunne anvendes til processer, der kræver en tjærefattig gas. Forsøgene er udført i forbindelse med et Eranet-2008 projekt, der fra dansk side ledes af Dall Energy. Her har det ikke blot været muligt at opnå en indledende afprøvning af tjærekrakning, men også at øge omfanget af både forgasningsforsøg og automatisering.

Dong Energy køber konceptet

I februar 2008 indgik et bredt flertal af folketingets partier en energiaftale,



foto: torben skøtt/biopress

der blandt andet gjorde op med det tidligere omtalte "hvile i sig selv" princip. Dermed var vejen banet for at få etableret et stort demonstrationsanlæg, og DONG Energy meldte sig hurtigt på banen som anlægsvært for det første anlæg i MW-størrelsen.

Energinet.dk har undervejs støttet op om projektet. Først med en bevilning til design af et 6 MW demonstrationsanlæg og senere med to bevil-

500 kW anlægget på DTU under klarlægning til nye forsøg.

linger på op til i alt 35 millioner kroner til anlægget, der vil blive opført i tilknytning til Asnæsværkets blok 2.

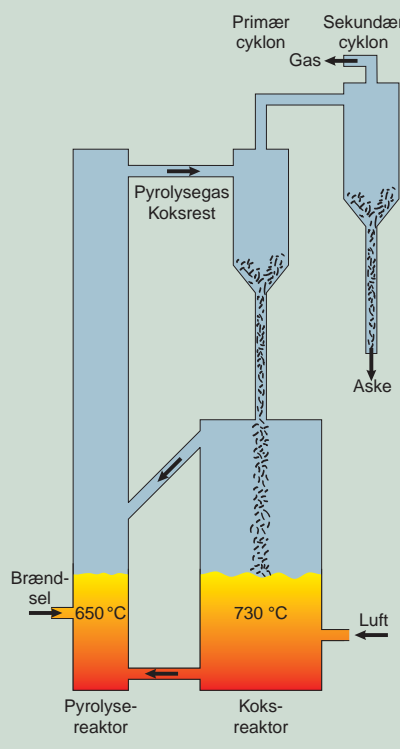
Projektet, der har fået navnet Biomass for Conversion (B4C), har et samlet budget på 90 millioner kroner. Det vil blive afsluttet i 2014, og skal dels tjene som afsæt for såvel et fuldskalaanlæg på 50-100 MW, dels for den videre kommerialisering på globalt plan.

Udviklingen af LT-CFB forgasseren er hidtil blevet varetaget af Danish Fluid Bed Technology (DFBT), Biomasseforgasningsgruppen på DTU, FORCE Technology, Anhydro A/S og DONG Energy.

I forbindelse med opførelse af demonstrationsanlægget har DONG Energy overtaget DFBTs rettigheder til konceptet.

Peder Stoholm er direktør for Danish Fluid Bed Technology, e-mail: peder.stoholm@catscience.dk. ■

Sådan fungerer LT-CFB forgasseren



Findelt brændsel tilføres i bunden af pyrolyse-kammeret, hvor det opvarmes til cirka 650°C. Da der ikke er ilt til stede, bryder halmen ikke i brand, men omdannes i stedet til 80 procent pyrolysegas og 20 procent koks. En strøm af cirkulerende sandpartikler river kokspartiklerne med sig, hvorefter de udskilles af en primærcyklon og recirkuleres til bunden af pyrolyse-kammeret via en reaktor, der omdanner koksen til gas.

Ved forgasning af koksdelene i et separat kammer er det muligt at holde procestemperaturerne lave, så asken ikke smelter. Derved kan asken, inklusive alkaliske og fosfor, skilles fra, så man får en gas, der ikke forårsager belægninger og korrosion. Den næringsrige aske kan efterfølgende genbruges som gødning og formentlig også til produktion af handelsgødning.

Billigere og bedre kedelanlæg

Ved at kombinere forgasning med forbrænding kan man slå flere fluer med ét smæk: Anlægget bliver billigere, udslippet af skadelige stoffer reduceres, og effekten kan reguleres ned til omkring 10 procent, så man sparer udgifterne til en "sommerkedel".

Af Torben Skøtt

Modstrømsforgassere har vist sig at være en særdeles robust og miljøvenlig teknologi, når det handler om at kunne omdanne træflis til gas. Erfaringerne fra en række eksisterende anlæg viser således, at de er i stand til at omsætte en meget høj andel af biomassen til gas, og man kan hurtigt regulere effekten op og ned afhængigt af, hvad der er påkrævet.

Modstrømsforgassere er til gengæld ikke i stand til at levere en ren gas, så hvis der er tale om motordrift, er det ofte nødvendigt med et dyrt og kompliceret anlæg, der kan fjerne tjæreindholdet i gassen.

Gassen indeholder til gengæld meget lidt støv, og tjæren er i sig selv et udmærket brændstof, så hvorfor ikke kombinere en modstrømsforgasser med et kedelanlæg, hvis man kun har brug for varme. Det er filosofien bag en såkaldt Multibrændselsovn, som Dall Energy har udviklet i samarbejde med SEM Stålinstri og med støtte fra EUDP programmet.

Ovnen blev prøvekørt første gang i december måned, og resultaterne herfra ser meget lovende ud. Udslippet af NO_x, CO og støvpartikler har således vist sig at være mindre end fra et traditionelt ristefyret anlæg, og driften er stabil helt ned til 10 procent last. Dermed bliver det muligt at droppe de små "sommerkedler", som varmeværker ofte ser sig nødsaget til at investere i, fordi den store "vinterkedel" kun kan reguleres ned til halv last.

Mindre støv

Det er især udslippet af støvpartikler, der er reduceret mærkbart i forhold til



foto: dall energy

Testkørsel med den nye Multibrændselsovn hos SEM Stålinstri i Sønderlø på Fyn.

et ristefyret anlæg. I en traditionel kedel, hvor brændslet føres ind på en rist i bunden, er der et betydeligt tryktab over risten. Derfor er det nødvendigt at blæse forbrændingsluften ind med et relativt højt tryk, men det betyder samtidigt, at der bliver hvirvlet en masse støv op gennem kedlen. Røggassen vil således være fyldt med støv, så normalt vil det være nødvendigt at installere udstyr til rensning af røgen, for at anlægget kan leve op til gældende miljøkrav.

– I Multibrændselsovnen bevæger luften og de brændbare gasser sig op gennem flisen med en hastighed på kun 1 meter i sekundet, så det er begrænset hvor meget støv, der hvirvles med op, forklarer direktør Jens Dall Bentzen fra Dall Energy.

Udslippet af CO og NO_x er ligeledes reduceret i forhold til et ristefyret anlæg. Det lavere udslip af CO skyldes et optimalt design af gasforbrændingskammeret, mens det lavere ud-

slip af NO_x skyldes en mere præcis styring af lufttilførslen, og at der sker en recirkulering af røggassen i den nederste del af forbrændingskammeret. Endelig er der tale om befugtet luft, som blæses ind i anlægget, og det giver en yderligere reduktion af NO_x-emissionen

Billigere anlæg

Men Multibrændselsovnen er ikke kun et miljøvenligt alternativ til de mere traditionelle ovntyper. Det er også et billigere alternativ, fortæller Jens Dall Bentzen:

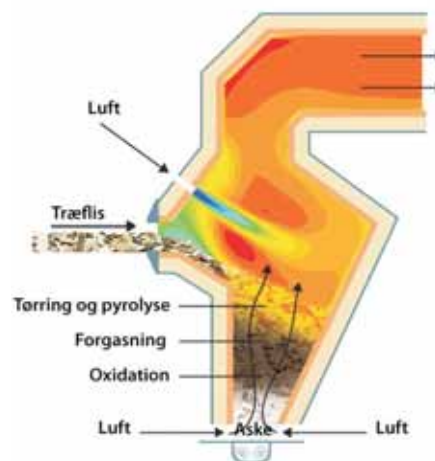
– Selve ovnen vil være billigere at fremstille og vedligeholde end en ristefyret kedel, da der ikke er bevægelige dele i ovnen. Resten af systemet bliver også billigere, fordi støvindholdet er så lavt, at det ikke er nødvendigt at installere en multicyklon eller anden form for røggasrensning, lyder det fra direktøren.

Han håber på, at det snart bliver muligt at finde en anlægsvært til det første anlæg, så man kan få nogle flere driftserfaringer. I øjeblikket forhandles der med en række potentielle anlægsværter, og der er givet et foreløbigt tilsagn fra EUDP-programmet om støtte til det første demonstrationsanlæg.

Læs mere på www.dallenergy.com

Læs rapporten om anlægget på www.biopress.dk/rap/0001.pdf. ■

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 7, januar 2010. ■



Principskitse af Multibrændselsovnen.

Algeforskningen får sit eget center

Et nyt center til forskning i alger skal sikre, at Danmark er med helt fremme, når det drejer sig om at kunne bruge alger til energiformål. Centret, der bliver placeret på Grenaa havn, skal blandt andet undersøge, hvordan algerne kan bruges til produktion af biogas.

Af Torben Skøtt

Det er Danmarks Miljøundersøgelser, Teknologisk Institut, Kattegatcentret og udviklingsprojektet Havets Hus, der står bag etableringen af AlgeCenter Danmark på Grenaa Havn. Centret kommer i første omgang til at bestå af otte tankanlæg, men det er planen, at der med tiden skal etableres 24 tanke, hvor forskerne kan udføre forsøg med forskellige slags alger. Tidligere har forskningen i Danmark især været koncentreret om søsalat, men nu vil man gerne udvide området til også at omfatte andre algetyper.

– Anlægget skal konstrueres, så vi kan skrue på alle de parametre, der har betydning for den mængde energi, vi kan hente ud af algerne. Det vil blandt andet sige tilførsel af næringsstoffer, CO₂, temperatur og pH-værdi, fortæller seniorrådgiver Michael Bo Rasmussen fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Etablering af anlægget finansieres af Teknologisk Institut og Danmarks Miljøundersøgelser, mens Kattegatcentret stiller et 500 m² stort område til rådighed for anlægget. Virksomheden AKVA group, der designer og udvikler recirkuleringssystemer til akvakultur, skal opføre anlægget, der forventes at stå færdigt allerede i maj 2010.

Alger og biogas

Et af de første projekter, Algecentret skal i gang med, handler om biogas fra alger. Region Midtjylland har bevilget 2,3 millioner kroner til projektet, hvor man skal undersøge potentialet i at udvinde biogas fra alger, og hvordan restproduktet kan bruges som



foto: teknologisk institut

Forsøg med dyrkning af søsalat i tankanlæg på Mors. Yderst til venstre er det seniorrådgiver Michael Bo Rasmussen.

gødning til økologisk planteavl. Ud over partnerne i konsortiet deltager DONG Energy og Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet ved Aarhus Universitet i projektet.

– Vi har tidligere undersøgt mulighederne for at bruge alger til produktion af bioethanol, men vi må nok erkende, at det ikke er så ligetil. Der skal rigtigt meget forskning til, før det lykkes, og meget tyder på, at det vil være mere oplagt at bruge algerne til produktion af biogas, forklarer Michael Bo Rasmussen. Han er dog overbevist om, at man skal satse på ikke bare ét, men flere produkter, hvis produktionen skal blive rentabel.

– I algerne er der nemlig interessante stoffer af meget høj værdi, som kan bruges i levnedsmiddelindustrien, og det vil være synd og skam at smide dem i et biogasanlæg, siger seniorrådgiveren. Som eksempel nævner han stoffet astaxanthin, der er et af naturens stærkeste antioxidanter og som også bruges til lakseopdræt, hvor det er med til at give fiskene den karakteristiske røde farve.

Produktion i det åbne hav

Selv om forsøgene i Grenaa kommer til at fungere i tankanlæg, så er Mi-

chael Bo Rasmussen overbevist om, at en industriel produktion af alger vil komme til at foregå i det åbne hav.

En mulighed er dyrkning af alger på liner, som omtalt i decemberudgaven af *Forskning i Bioenergi*. En af udfordringerne ved den produktionsform er fastgørelse af de mange sporer på linerne, og hvordan man i det hele taget skaffer tilstrækkeligt med sporer.

Men måske kan anvendelse af enzymer gøre den produktionsform rentabel. Danmarks Miljøundersøgelser er således med i et EU-projekt på Sicilien, hvor man blandt andet udfører forsøg med at få søsalat til at formere sig ved hjælp af enzymer. Metoden, der kaldes protoplast, går ud på, at enzymerne får cellevæggene i søsalat til at gå i opløsning. Det er en form for kloning, hvor man deler et individ i tusindvis af celler, og det kan muligvis være med til at skabe en rentabel produktion af makroalger som søsalat og sukkertang.

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 7, januar 2010. ■

Ekspert i forbrænding og forgasning

På forskningscentret CHEC ved DTU Kemiteknik sidder nogle af landets førende forskere inden for forbrænding og forgasning. Centret har ikke mindre end 50 medarbejdere, der arbejder målrettet på at sætte Danmark på verdenskortet, når det handler om biomasse til energiproduktion.

Af Torben Skøtt

Danmark er utvivlsomt det land i verden, der har størst erfaring med at bruge halm til energiproduktion, og i dag har vi formentlig lige så mange halmfyrede kraftværker som resten af verden tilsammen.

Det startede i 1986, hvor et bredt flertal af folketingets partier besluttede, at der skulle satses på kraftvarmeproduktion baseret på indenlandske brændsler som halm, træ og biogas. Det førte til opførelsen af det første halmfyrede kraftvarmeværk i Haslev i 1989, og siden da er kapaciteten løbende blevet udbygget med en række anlæg, der helt eller delvist fyrer med biobrændsler.

Sideløbende med etablering af de enkelte værker er der brugt betydelige beløb på forskning og udvikling med det resultat, at Danmark i dag er internationalt kendt for vores viden om bioenergi, ikke mindst når det drejer sig om halm til el og varmeproduktion.

En af de forskergrupper, der især har gjort sig internationalt bemærket, er CHEC, der er ledet af professor Kim Dam-Johansen og hører under DTU Kemiteknik. CHEC står for **C**ombustion and **H**armful **E**mission **C**ontrol og tæller i dag omkring 50 medarbejdere, hvoraf cirka halvdelen er Ph.D. studerende.

– Vores udgangspunkt er nogle videnskabelige discipliner mere, end det er udviklingen af bestemte teknologier, forklarer lektor Peter Arendt Jensen fra CHEC. Han lægger stor vægt på, at forskningen sker i en tæt dialog med danske energiselskaber og virksomheder, der producerer udstyr til energibranchen.

– Det er en løbende udvikling med mange små forbedringer, der er baggrunden for, at vi er nået langt i Danmark. Det har haft stor betydning for anvendelsen af biomasse til elproduktion, men det har ikke påkaldt sig meget opmærksomhed i pressen, siger Peter Arendt Jensen.

Den ideelle kedel findes ikke

Et af de store problemer ved at bruge biomasse som brændsel er risikoen for korrosion, der især er udpræget på de halmfyrede værker. Træ er i den sammenhæng noget mere skånsomt, da indholdet af kalium og klor er væsentligt lavere end i halm.

Håndteringen af de 500 kg tunge halmballer er heller ikke nogen let sag, og endelig indeholder halm 5-6 procent aske eller cirka fem gange så

meget som træflis. Det kan give problemer med askebelægninger i kedlerne, der formindsker varmeovergangen, og kan give korrosions- og driftsproblemer.

I starten blev biobrændslerne typisk udnyttet på ristefyrede anlæg, men i dag bliver der også brugt betydelige mængder biobrændsler på de støvfyrede anlæg.

– Ristefyrede anlæg er mere tolerante over for variationer i brændsler, men de støvfyrede anlæg har til gengæld en højere virkningsgrad. Vi forsøger i at forbedre effektiviteten og formindske miljøbelastningen fra biokedlerne, fortæller Peter Arendt Jensen.

Doktor "Aske"

En af de forskere på CHEC, der har fulgt udviklingen af de halmfyrede værker tæt gennem de seneste 15 år, er lektor Flemming Frandsen. Han har nu samlet erfaringerne i et digert værk med henblik på at få det godkendt som en doktorafhandling.

– Halmasker kan være temmelig problematisk, men vi har efterhånden gennemført så mange målinger og studier, at vi i dag ved, hvordan kedlerne skal designes, så vi undgår de værste problemer, forklarer Flemming Frandsen.

Han har også beskæftiget sig indgående med samfyring af halm og kul på de store kraftværker, hvor man har været i stand til at køre med en halmandel på helt op til 20 procent. Det er 2-3 gange mere, end man har præsteret i andre lande.

– En af hemmelighederne ved samfyring er, at kulasken reagerer med halmasken. Derved minimerer man problemerne med belægning- og korrosion, og man risikerer ikke at få ødelagt de katalysatorer, der renser røgen, forklarer Flemming Frandsen.

Lektor Peter Arendt Jensen ved en såkaldt roterovn, der er udviklet i samarbejde med Babcock & Wilcox Vølund.



foto: torben skøtt/biopress



foto: forskningscentret chec

Teknikere fra CHEC i færd med at udføre probemålinger på Avedøreværkets halmfyrede kedel.



foto: forskningscentret chec

Fyringsforsøg udføres i CHECs pilotskala forsøgshal.

Forbrænding med ren ilt

Biomasse bliver normalt afbrændt ved tilførsel af luft, men på CHEC og en række andre universiteter forskes der i dag i såkaldt oxyfuel forbrænding. Det vil sige afbrænding ved tilførsel af ren ilt i stedet for luft, der kun indeholder omkring 20 procent ilt.

– Fordelen ved oxyfuel er, at røggassen primært består af CO₂ og vand, og derved er det forholdsvist nemt at isolere CO₂-indholdet, så det ikke slipper ud i atmosfæren, fortæller professor Peter Glarborg.

– Energiselskabet Vattenfall har investeret omkring 1 milliard kroner i et pilotanlæg til oxyfuel forbrænding i Tyskland, så det er et område, der forskes intensivt i. Alligevel skal vi næppe forvente, at teknologien bliver udbredt før om 10-20 år. Dels er der behov for teknologiudvikling i stor skala, dels er processen dyr og energi-krævende, og således afhængig af politiske krav til CO₂-reduktion, lyder det fra professoren.

Forgasning

I dag bliver langt den overvejende del af biobrændslerne brugt til energiproduktion gennem afbrænding, men på sigt kan det måske blive mere interessant at omdanne biomassen til gas. Det giver flere muligheder: Gassen kan sendes ud på naturgasnettet eller omdannes til flydende brændstoffer, ligesom den naturligtvis kan bruges til produktion af el og varme.

En af de mange teknologier, man arbejder med på CHEC, er såkaldt entrained flow forgasning. Det er en teknologi, der er velegnet til meget store

anlæg, hvor biomassen omsættes til gas under høje tryk og temperaturer.

– Visionen er at kunne omsætte biomassen til så ren en gas, at den kan bruges i naturgasnettet, i en gasturbine, eller omdannes til flydende brændstoffer. Det kan for eksempel være metanol, syntetisk benzin eller DME, der kan bruges i dieselmotorer, fortæller Anker Degn Jensen, der er professor på CHEC.

Forskningen foregår i et tæt samarbejde med Haldor Topsøe, der er en af verdens førende leverandører

af katalysatorer til konvertering af gas til flydende brændstof. Firmaet har leveret flere anlæg til naturgas og kul i udlandet. Anker Degn Jensen har dog ingen forventninger om, at teknologien vil være kommercielt tilgængelig i Danmark inden for de nærmeste år:

– Der er mange ting, der skal falde på plads, men jeg tror det kommer på et tidspunkt, for det er en langt mere fleksibel og intelligent måde at bruge biomassen på, slutter professoren. ■

Forskningscentret CHEC

CHEC, der står for **C**ombustion and **H**armful **E**mission **C**ontrol, er et forskningscenter, som hører under DTU Kemiteknik. Forskningen omfatter både eksperimentelt og teoretisk arbejde inden for forgasning og forbrænding af såvel fossile brændsler som biomasse.

CHEC blev oprettet den 1. februar 1987 og tæller i dag 50 medarbejdere, hvoraf cirka halvdelen er Ph.D. studerende. Centret har et tæt samarbejde med danske energiselskaber og industrivirksomheder og har igennem de senere år gennemført en lang række projekter om biomasse til energiproduktion. For tiden har man blandt andet projekter om:

- Forgasning af biomasse i entrained flow forgasser
- Konvertering af gas til væskeformige brændsler
- Forbrænding ved tilførsel af ren ilt (oxyfuel)
- Forbrænding i roterovn
- Samfyring af kul/affald og kul/biomasse
- Begrænsning af emissioner fra biomassefyrede anlæg
- Mobil enhed til produktion af bioolie og koks fra halm
- Målinger af belægninger på Amagerværket og modellering af belægningsdannelse
- 15 års erfaringer med belægninger og korrosion i biokedler.

Forskningscentret CHEC • DTU Kemiteknik
Bygning 229 • Søtofts Plads • 2800 Kgs. Lyngby
www.chec.kt.dtu.dk • kt@kt.dtu.dk • ☎ 4525 2800



foto: torben skøtt/biopress

Bioenergi kan dække hele verdens energiforbrug i 2050

I praksis vil det næppe være muligt, men i teorien vil bioenergi sagtens kunne dække hele vores energiforbrug i 2050. Forudsætningen er en langt mere effektiv landbrugssektor, der både kan øge produktionen af fødevarer og samtidig frigøre betydelige arealer til dyrkning af energiforgrøder.

Af Torben Skøtt

Det er landbruget, der sidder inde med nøglen til at løse mange af de problemer, verden står overfor. Med et mere effektivt og velfungerende landbrug vil vi kunne brødføde 9 milliarder mennesker i 2050, dække verdens energibehov med biomasse og skabe udvikling blandt verdens fattigste.

Det var budskabet i et indlæg, som professor André Faaij fra Utrecht University i Holland holdt på Planteavlskongressen i Herning den 13. januar. Professoren er i de senere år blevet kendt for sine meget grundige studier af bioenergiens potentiale, og han er blandt andet rådgiver for flere regeringer, formand for IEA's bioenergi-gruppe Task 40 og medlem af FN's klimapanel IPCC.

– De udfordringer, vi står overfor, kræver fælles løsninger, der både omfatter klima, fødevarer og energiproduktion. Vi kan ikke løse ét problem

Ifølge professor André Faaij fra Utrecht University i Holland, sidder landbruget inde med nøglen til at løse mange af de problemer, verden står overfor.

ad gangen, for tingene hænger uløseligt sammen, sagde André Faaij.

Hans beregninger peger på, at vi kan dække hele verdens energiforbrug med bioenergi, hvis vi er parat til at ændre den måde landbruget fungerer på. I det mest optimistiske scenarium vil bioenergien i 2050 således kunne bidrage med ikke mindre end 1.500 EJ. Det er tre gange så meget, som vores nuværende energiforbrug og halvanden gange mere end det forventede forbrug i 2050.

– Men har jeg sagt, at det vil ske? NEJ, DET HAR JEG IKKE, nærmest råbte André Faaij til forsamlingen i Messecenter Herning, tydeligvis frustreret over at blive fejl citeret og misforstået. Han understregede gang på gang, at der er tale om teoretiske beregninger, som viser, at potentialet er enormt, men at det næppe vil komme til at ske i virkeligheden.

Fødevarer og energi

Fødevarerprisernes himmelflugt i 2008 har medført en udbredt skepsis mod at inddrage landbrugsjord til produktion af energi, men i følge André Faaij var det ikke biobrændstofferne, der fik priserne til at stige markant. Verdensbanken vurderede ellers, at 75 procent af prisstigningerne skyldes anvendelsen af biobrændstoffer, men den vurdering giver professoren ikke meget for:

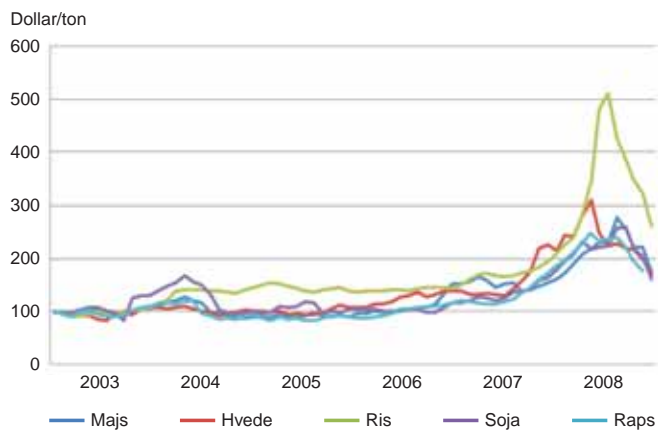
– Hvis man ser på de enkelte fødevarer, vil man opdage, at prisstigningerne for ris var væsentligt større end for hvede, majs og raps. Men man bruger jo ikke ris til produktion af biobrændstoffer, så det kan ikke forklare de store prisstigninger på fødevarer, sagde André Faaij.

Det areal, der anvendes til produktion af biobrændstoffer, er naturligvis steget i takt med efterspørgslen, men det er fortsat kun 5-6 procent af det samlede landbrugsareal, der bliver brugt til biobrændstoffer. Det er endnu et argument for, at der næppe er den store sammenhæng mellem biobrændstoffer og udviklingen i fødevarerpriserne.

Intensivt landbrug

I dag er der knapt syv milliarder mennesker på kloden, men de fleste prognoser peger på, at befolkningstallet vil stige til ni milliarder i 2050. Vi skal med andre ord kunne brødføde væsentligt flere mennesker, vi skal kunne levere bedre mad – især mere proteinholdig kost – og vi skal kunne dække et energiforbrug, der bliver næsten dobbelt så stort som i 2008.

Ifølge André Faaij vil det kræve et langt mere effektivt landbrug end det, vi kender i dag. De helt store muligheder findes i blandt andet Østeuropa, Afrika og Sydamerika, men også de



Udviklingen i fødevarerpriserne fra 2003 til 2009. I 2008 steg prisen på ris markant, hvorimod stigningerne på de fødevarer, der også kan bruges til bio-brændstoffer, var mere moderate.

Ikke plads til økologi

Herhjemme har Det Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet lavet tilsvarende studier af bioenergiens potentiale, og resultaterne herfra minder på flere punkter om det arbejde, der er foregået på Universitetet i Utrecht.

– Der er ingen tvivl om, at arealet til produktion af fødevarer kan reduceres drastisk, siger professor Claus Felby fra Det Biovidenskabelige Fakultet. Han peger især på de meget store arealer som den animalske produktion lægger beslag på, ligesom han er yderst skeptisk over for det økologiske landbrug.

– Det er meget realistisk, at bioenergien vil kunne dække en tredjedel af verdens energiforbrug i 2050, men det går ikke, hvis det økologiske landbrug vinder frem. De har ikke nær de samme udbytter som det traditionelle landbrug, og de skal bruge betydelige arealer til produktion af gødning, forklarer professoren.

Claus Felby har ofte gjort sig til talsmand for at kombinere produktionen af foder, føde og brændstoffer for eksempel via produktion af 2. generationsbioethanol.

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 7, januar 2010. ■

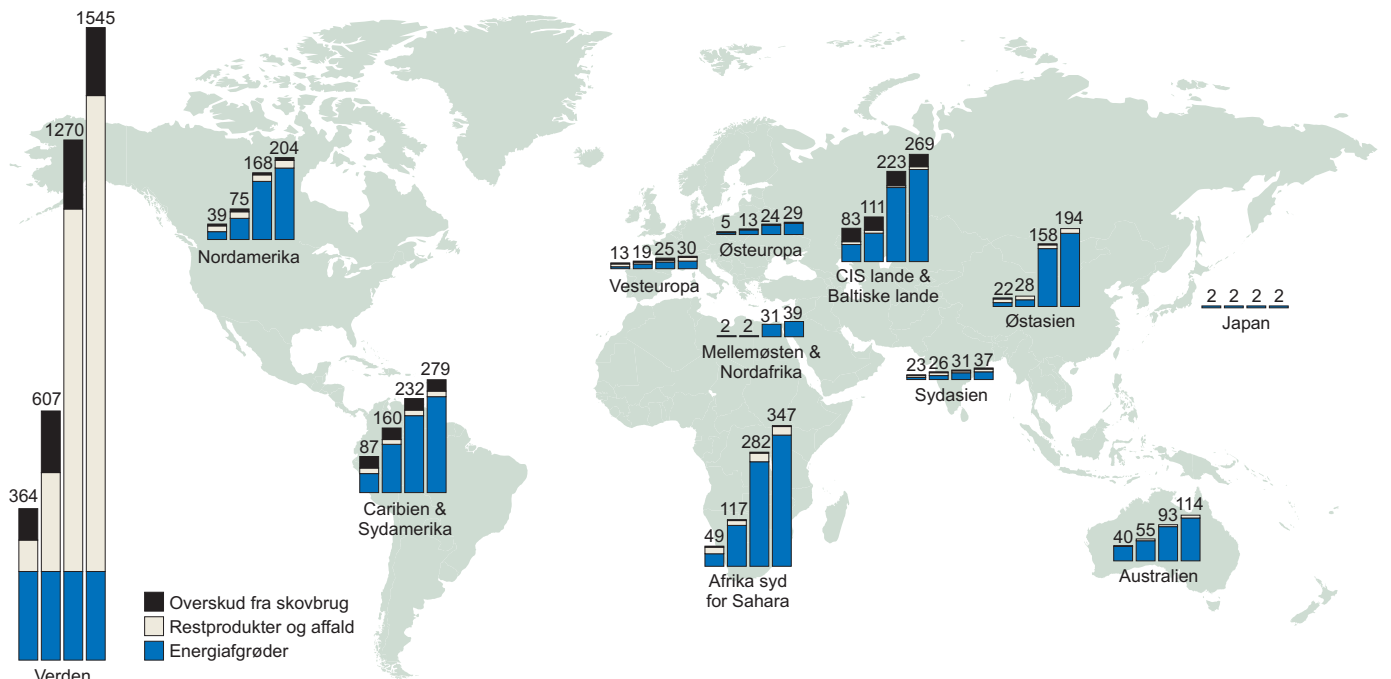
vestlige lande skal forvente store ændringer af landbrugsproduktionen.

– I vores mest ambitiøse scenarium har vi regnet med, at vi kan brødføde ni milliarder mennesker på en femtedel af det areal, vi bruger i dag, men det kommer ikke til at se kønt ud. Vi skal således ikke forvente, at dyrene kommer på græs, og vi skal bruge genmodificerede afgrøder, masser af gødning og pesticider, sagde André Faaij. Han understregede endnu engang, at det næppe er det scenarium, der vil blive ført ud i livet, men at det viser noget om landbrugets potentiale for at kunne levere både fødevarer og energi.

I dag er der en klar sammenhæng mellem ineffektivt landbrug og fattigdom. Omkring 70 procent af verdens

fattige lever således i områder med landbrug, der hverken kan betegnes som bæredygtigt eller produktivt. De har ikke råd til at købe gødning, og de har ikke adgang til ordentlige markeder, hvor de kan afsætte deres produkter.

– Vi skal flytte økonomien fra skyskrabere i Dubai til udvikling af landdistrikterne i den fattige del af verden. Hvis det lykkes, vil det ikke blot mindske skellet mellem rige og fattige – det vil også være til gavn for klimaet og sikre mere stabile forsyninger af fødevarer og energi, sagde André Faaij. Han pegede blandt andet på Brasilien som et eksempel på, hvordan man kan optimere produktionen af både energi og fødevarer.



Fire forskellige scenarier for bioenergipotentialt i 2050 (EJ/år). Verdens energiforbrug er i dag på knapt 500 EJ/år, men forventes at stige til knapt 1.000 EJ i 2050.

Gylle og energiafgrøder kan dække ti procent af energiforbruget



foto: torben skøtt/biopress

Energiafgrøder giver biogasanlæg mulighed for at regulere gasproduktionen, så det passer med forbruget på et kraftvarmeværk. Dermed får gassen en højere værdi, og en kombination af husdyrgødning og energiafgrøder vil gøre det muligt at dække ti procent af Danmarks energiforbrug.

Af Torben Skøtt

I dag er det cirka fem procent af husdyrgødningen, der bliver omsat til biogas, men ifølge regeringens plan for Grøn Vækst skal den andel hæves til 50 procent i 2020. Det er en meget ambitiøs målsætning, der afspejler, at politikerne for alvor er begyndt at sætte klimaet højt på dagsordenen.

Men er det i det hele taget realistisk, og hvordan skal udbygningen i givet fald foregå? Det var et af de emner, som blev behandlet på årets planteavlskongres, hvor der blandt andet blev sat fokus på anvendelsen af energiafgrøder i biogasanlæg.

Hidtil har biogasanlæggene benyttet sig af en kombination af husdyrgødning og organisk affald for at få økonomien til at hænge sammen, men allerede i dag er der ved at være mangel på affald, og nye anlæg må derfor se sig om efter andre råvarer.

Det kan for eksempel være energiafgrøder dyrket til formålet, græs fra

Biogasanlægget i Lintrup ved Rødding har ved flere lejligheder brugt energiafgrøder som supplement til husdyrgødning og organisk affald.

naturområder eller fiberfraktionen fra gylle, der er separeret ude på de enkelte ejendomme. Isoleret set er det langt fra så attraktivt som organisk affald, som anlæggene i flere tilfælde får penge for at modtage, men energiafgrøder kan give mulighed for sæsonregulering af gasproduktionen, og det åbner op for helt nye perspektiver. Det fortalte Energistyrelsens biogasekspert Søren Tafdrup om i et indlæg på planteavlskongressen.

Sæsonregulering

Alt peger på, at biogasanlæggene opnår den bedste økonomi, hvis gassen leveres direkte til et kraftvarmeværk. På et tidspunkt bliver det formentlig nødvendigt at sende biogassen ud på naturgasnettet, men ifølge Energistyrelsen gælder det i første omgang om at få dækket forbruget til kraftvarme.

Anvender biogasanlæggene udelukkende gylle, vil de typisk kunne dække 30-45 procent af brændselsbehovet på et kraftvarmeværk, men ifølge Søren Tafdrup vil de få mulighed for at dække hele forbruget, hvis de tredobler produktionen i vinterhalvåret ved hjælp af energiafgrøder.

Både samfunds- og selskabsøkonomisk vil det give biogassen en højere værdi, men det kræver altså, at anlæggene skal basere halvdelen af deres gasproduktion på husdyrgødning og den anden halvdel på energiafgrøder. Ressourcemæssigt ligger denne fordeling tæt på forudsætningerne i Fødevareministeriets rapport fra december 2008 "Landbrug og Klima", hvor der er regnet med, at energimajs fra 100.000 hektar og græs fra 75.000 hektar natur skal bruges til produktion af biogas.

Afgroede	Majs		Roer		Slætgræs	
	JB 1&3	JB 5-6	JB 1&3	JB 5-6	JB 1&3	JB 5-6
Jordtype						
Udbyttensniveau, FE/ha	9.000	11.000	9.000	13.000	9.000	9.500
Udbyttensniveau, tons TS/ha	11	13	9	13	11	11
Gaspotential, Nm ³ metan/FE	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Gasudbytte, Nm ³ metan/ha	3.600	4.400	3.600	5.200	3.600	3.800
Produktionspris, kr./FE	0,89	0,77	1,06	0,84	0,96	0,93
Råvarepris, kr./Nm³metan	2,23	1,93	2,65	2,10	2,40	2,33

Tabel 1. Udbytte og produktionspriser for majs helsæd, roer inklusive top samt slætgræs, hvor der er regnet med tre slæt/sæson.

Ti procent af energiforbruget

Ifølge Søren Tafdrup vil kombinationen af husdyrgødning og energiafgrøder kunne dække op mod ti procent af Danmarks energiforbrug, hvis det gribes fornuftigt an:

I husdyrgødning er der et energipotential på knap 40 PJ. Hvis 30 PJ af det potential udnyttes til biogas, og energiafgrøder vil kunne bidrage med yderligere 30 PJ, vil biogassen kunne dække syv procent af Danmarks aktuelle energiforbrug. De fleste prognoser peger imidlertid på, at energiforbruget vil falde i de kommende år, så det vil ikke være urealistisk, at biogassen kan til at dække ti procent af energiforbruget om 30-40 år.

De 30 PJ energiafgrøder vil kunne produceres på omkring 150.000 hektar eller 6 procent af det dyrkede areal. Det er heller ikke urealistisk.

Hvad koster det?

Betingelsen er selvfølgelig, at konceptet med gylle og energiafgrøder er økonomisk realistisk. Omkostningerne til håndtering og omsætning på biogasanlæggene er i denne sammenhæng en mindre faktor. Det er prisen på energiafgrøderne, der er afgørende for, om konceptet kan føres ud i livet.

Det emne kom udviklingskonsulent Søren Ugilt Larsen fra Agrotech ind på sit indlæg, der især handlede om majs, roer og græs. Han vurderede, at de tre afgrøder var mest oplagte til produktion af biogas, men lagde ikke skjul på, at der er en del usikkerhed

både, hvad angår produktionsomkostningerne og gaspotentiale.

I Danmark er der kun meget begrænsede erfaringer med at bruge energiafgrøder i biogasanlæg, hvori mod tyske landmænd i stor stil bruger både majs og græs.

Umiddelbart ser det også ud til, at majs er den afgrøde, der økonomisk set vil klare sig bedst i Danmark med en produktionspris på 1,93-2,23 kroner/m³ metan, afhængigt af jordtype (se tabel 1). Majs er samtidig nem at dyrke, og biogasanlæggene vil have forholdsvis let ved at håndtere en afgrøde som majs.

Roer byder til gengæld på en række udfordringer med hensyn til håndtering og lagring, men har et stort udbytte, ligesom roerne er meget nemme at omsætte til biogas på grund af det høje sukkerindhold. Hvis både rod og top regnes med, er udbyttet cirka en tredjedel højere end for majs, så hvis der bliver mangel på jord, vil roer være en attraktiv afgrøde. Prisen forventes at være på 2,10-2,65 kroner/m³ metan - altså lidt højere end for majs.

Græs bruges, ligesom majs, i en del tyske biogasanlæg. Der kan enten være tale om græs fra intensivt dyrkede arealer eller fra mere ekstensiv drift af naturarealer. For intensivt dyrkede arealer forventes der et udbytte på cirka 12 tons tørstof/hektar og en produktionspris lidt højere end for majs.

Hvad er bedst?

Produktionsomkostningerne for majs, roer og græs overlapper hinanden så

meget, at det formentlig må være lokale forhold, der afgør, hvilke afgrøder der i givet fald skal sættes på.

Hvorvidt det kan betale sig for biogasanlæggene at købe disse afgrøder, afhænger blandt andet af hvor stort et dækningsbidrag, der skal lægges oven i produktionsomkostningerne, og hvor meget anlæggene kan få for gassen. I dag varierer biogasprisen meget fra anlæg til anlæg. I den business-case, der blev anvendt i forbindelse med Grøn Vækst aftalen i juni 2009, er det forudsat, at biogas erstatter naturgas til kraftvarme og derved opnår en salgspris på omkring 4 kroner/m³ metan.

Majs er som nævnt en af de afgrøder, der klarer sig godt ud fra et økonomisk synspunkt. Græs har til gengæld en række miljømæssige fordele - især hvis der er tale om græs fra naturarealer, hvor der hverken bliver sprøjtet eller gødet. Endelig er der roer, som har det højeste udbytte per hektar, og hvor der kan være mulighed for at kombinere produktionen af foder med biogas. Det koncept er i øjeblikket ved at blive undersøgt i et projekt med deltagelse af blandt andre CBMI, Agrotech og Risø. Resultaterne fra projektet vil blive præsenteret i et af de kommende numre.

Indlæg fra kongressen kan ses på www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres.

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 8, februar 2010. ■



foto: søren ugilt larsen/agrotech

Græs har lidt højere produktionsomkostninger end majs, men er til gengæld en mere miljøvenlig afgrøde.



foto: søren ugilt larsen/agrotech

Det kan være sin sag at være forsker, når der skal tages prøver af årets majshøst.

Svenskerne først med biodiesel fra træ

I Piteå i Nordsverige er håndværkerne ved at lægge sidste hånd på et industrianlæg, der skal kunne producere 100.000 tons biodiesel om året på basis af træaffald fra papirindustrien.

Initiativtageren til projektet er Lars Stigsson, der blandt andet står bag virksomheden SunPine AB. Selskabet har i løbet af kun fem år været i stand til at udvikle teknologien, der kan bruges til at omdanne såkaldt tallolie til biodiesel.

– Når det har været muligt, at gå fra idé til færdig fabrik på så kort tid, hænger det sammen med, at processen er relativt enkel, forklarer Lars Stigsson til det svenske tidsskrift *Energivärlden*.

Tallolie, der frit oversat betyder fyrretræsolie, er en olieholdig væske, som består af en blanding af harpiks og fedtsyrer. Det er et restprodukt fra den svenske papirindustri, der får sine råvarer fra de enorme skovarealer i Sverige.

Haldor Topsøe er med

Ifølge Lars Stigsson skal fabrikken i Piteå primært rense olien for svovl og andre urenheder og så møblere lidt om på molekylene, som han udtrykker det. Derefter bliver olien afsat til Preems raffinaderi i Göteborg, hvor der sker en yderligere forarbejdning, inden olien bliver blandet i almindelig dieselolie.

Teknikken på raffinaderiet i Göteborg er blandt andet leveret af danske Haldor Topsøe, der har en betydelig



foto: sunpine/maria fäldt

Luftfoto af Piteå havn. Fabrikken, der skal levere biodiesel til raffinaderiet i Göteborg, ses til højre på billedet.

ekspertise inden for konvertering af gas til flydende brændstoffer. En mindre del af olien indeholder en række værdifulde kemikalier, som kan anvendes af levnedsmiddelindustrien og til fremstilling af medicin.

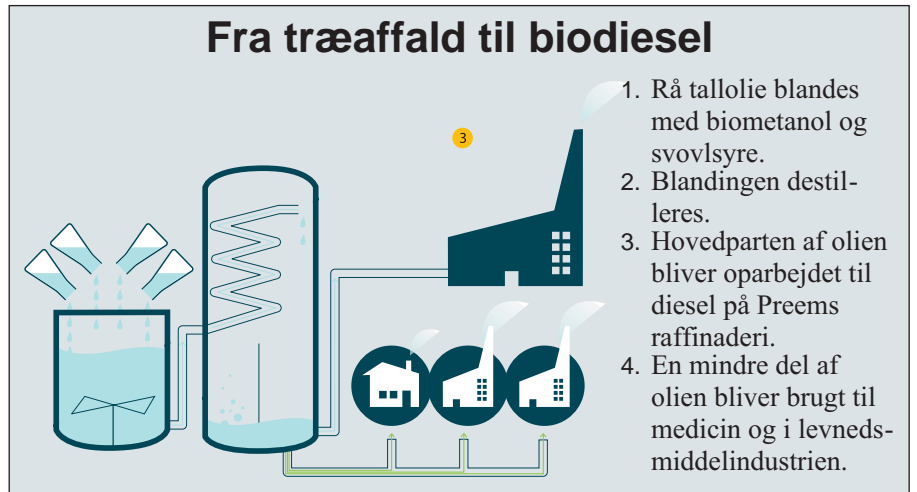
Anlægget i Piteå, der er det første af sin art i verden, har kostet 225 millioner kroner, og derudover har Preem investeret 175 millioner i raffinaderiet i Göteborg. Udover SunPine og Preem har Sveaskog og Södra skogsägarna investeret i anlægget i Piteå, og endelig har den svenske energistyrelse ydet et tilskud på knap 4 millioner kroner til udvikling af processen.

Svenskerne har igennem længere tid brugt betydelige midler på at udvikle

2. generationsteknologier til produktion af biobrændstoffer – det vil sige brændstoffer, der ikke konkurrerer med produktionen af fødevarer.

Hidtil har det kun været biogasanlæggene, der har kunnet leve op til de krav, men nu er man altså også i stand til at levere 2. generations biodiesel. Derudover satser man på udvikling af forgasningsteknologien for at få udnyttet landets enorme træressourcer til fremstilling af gas, der efterfølgende kan konverteres til flydende brændstoffer.

Artiklen har tidligere været bragt i *Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi*, nr. 8, februar 2010. TS



Markant stigning i offentlig forskning

Nye tal fra Danmarks Statistik viser, at de offentlige forsknings- og udviklingsudgifter steg med knapt 30 procent fra 2007 til 2008.

Danmarks Statistik har offentliggjort regnskabstallene for de samlede offentlige forsknings- og udviklingsudgifter i 2008. Opgørelsen viser, at der er sket en massiv stigning i de offentlige forsknings- og udviklingsudgifter fra 2007 til 2008. I absolutte tal drejer det sig om en stigning på 3,7 milliarder kroner til 16,9 milliarder kroner i 2008.

Omregnet til procent af bruttonationalproduktet svarer det til, at de offentlige udgifter til forskning og udvikling i 2008 udgjorde 0,97 procent. Dertil kommer private investeringer i forskning og udvikling på 2,05 procent af bruttonationalproduktet, og det betyder, at Danmark allerede i 2008 kunne indfri Barcelona-målsætningen for 2010, hvor investeringerne i forskning og udvikling i EU skal være på tre procent af bruttonationalproduktet.

I en kommentar til tallene fra Danmarks Statistik siger videnskabsminister Charlotte Sahl-Madsen:

– Det er væsentligt for Danmark, at vi så markant har øget investeringerne i forskning og udvikling, for de bidrager til at fremme produktivitet, innovation og vækst. Det har vi ikke mindst brug for i lyset af det økonomiske tilbageslag, som i mellemtiden har ramt den internationale økonomi.

– I en stadig mere globaliseret verden, hvor vi konkurrerer på viden og nye ideer, skal vi fortsat styrke den private og offentlige forskning og fremme samarbejdet mellem virksomheder og videninstitutioner. Her leverer Rådet for Teknologi og Innovation, Højteknologifonden og Det Strategiske Forskningsråd allerede en effektiv indsats, og i regeringens nye arbejdsprogram har vi foreslået, at en matchfond med en startkapital på 100 mio. kr. kan sætte yderligere fart i det offentlig-private samarbejde om viden og innovation.

Kilde: www.vtu.dk

Ny frist for Biogasol

Det bornholmske bioethanolprojekt kan stadig nå at få del i de afsatte 76 millioner kroner fra EUDP.

Biogasol har fået forlænget fristen til at få projektet BornBio-Fuel til at fungere, skriver TV2 Bornholm. Det betyder, at håbet om at få del i de 76 millioner kroner, selskabet sidste år fik lovning på fra de såkaldte EUDP-midler, stadig lever.

Kravet var ellers, at første fase i BornBioFuel skulle have været fuldt funktionsdygtigt i slutningen af marts, hvis Biogasol skulle have udbetalt millionerne.

Men det chance løber altså nu frem til 1. oktober i år.

Selskabet skal ligeledes selv have skaffet godt 100 millioner kroner inden denne dato.

Bestyrelsesformand i Biogasol Jens Christian Mathiesen glæder sig over den forlængede frist.

TS

Bakterier kan sætte skub i produktionen af ethanol

En gruppe norske forskere har opdaget et protein, som kan gøre det lettere at omdanne træ til bioethanol.

I princippet kan alle former for biomasse bruges til produktion af flydende brændstoffer. Sukkerholdige afgrøder som sukkerrør og sukkerroer kan umiddelbart omdannes til ethanol ved hjælp af gærceller, ligesom det er enkelt at producere ethanol ud fra afgrøder som majs og korn, der indeholder betydelige mængder stivelse.

Men når det drejer sig om celluloseholdige biomasser som træ, bliver det straks mere vanskeligt. Her er sukkerstofferne og cellulosen nærmest limet sammen, så det kræver en avanceret forbehandling og kostbare enzymer, hvis sukkerstofferne skal frigives.

Rent teknisk kan det således godt lade sig gøre, men processen er både dyr og energikrævende. En stor del af

forskningen inden for biobrændstoffer går derfor ud på at forenkle processen, og for nylig har en gruppe forskere fra Universitetet for miljø og biovitenskap i Norge fundet ud af, at naturens egne bakterier kan være et vigtigt skridt på vejen.

I første omgang fokuserede forskerne på skaldyr, som indeholder kitin, der minder om cellulose. De blev klar over, at der i naturen findes en række bakterier og svampe, som har udviklet en effektiv metode til at nedbryde kitin.

– Målet har været at finde ud af hvordan bakterierne bruger deres enzymer til nedbryde de tilsyneladende uløselige og robuste sukkerkæder, udtaler Gustav Vaaje-Kolstad fra Universitetet for miljø og biovitenskap til hjemmesiden www.forskning.no.

Gennembruddet kom, da forskerne fandt ud af, hvordan enzymerne er designet: De er i stand til at sidde urokkeligt fast på sukkerkæderne, således

at de kan spalte sukkeret gang på gang, uden at de ryger af.

– Ved at behandle proteinet på en speciel måde, kan vi øge proteinets aktivitet dramatisk, således at de tilsyneladende uløselige sukkerkæder bliver til små nano-fibre, som er ekstremt lette at nedbryde, siger Vaaje-Kolstad til www.forskning.no.

Forskerne er nu i færd med at demonstrere, at princippet også kan bruges til biomasse på land, hvor det er cellulose, der skal nedbrydes.

Ingen ved nøjagtigt, hvordan proteiner, som binder sig til cellulose, fungerer, men meget tyder på, at de har samme struktur og fungerer på samme måde som de proteiner, der binder sig til ketin.

Ifølge Gustav Vaaje-Kolstad vil den nye opdagelse gøre det både enklere og billigere at producere biobrændstoffer på basis af cellulose.

Kilde: www.forskning.no



Bioenergiforskning i Kina

Kina har et gigantisk potentiale for bioenergi. Landet, der producerer cirka halvdelen af verdens svin, har enorme mængder halm og husdyrgødning i overskud. Alligevel kan det blive svært for danske virksomheder at komme ind på markedet.

Af Knud Tybirk

En gruppe danske forskere og projektledere har for nylig været i Kina for at møde forskere inden for biomasse og bioenergi. Formålet med turen var især at få indledt et tættere samarbejde med de kinesiske universiteter og virksomheder inden for området. Fra Danmark deltog fem forskere fra Risø - DTU og Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet på Aarhus Universitet samt seks projektledere fra Agrotech og CBMI.

Turen gik blandt andet til universiteter og forskningsmiljøer i Shanghai, Nanjing og Hangzhou – tre byer med i alt cirka 30 millioner indbyggere i Yangze floddeltaet, der kan betegnes som Kinas riskurv.

Bioenergi

Omkring 70 procent af Kinas energiforbrug bliver i dag dækket af kul, mens resten klares med vedvarende, naturgas og olie.

Vedvarende energi står for 10 procent af energiforsyningen, men målet er at nå op på 15 procent i 2020. I dag stammer hovedparten fra vandkraft, mens en mindre del kommer fra vindmøller, biomasse, geotermi og solvarme.

Bioenergi dækker i dag cirka én procent af energiforbruget, men planen er, at produktionen skal femdobles frem til 2020. Det svarer til cirka 30 GW, der skal produceres ved hjælp af 50 millioner tons biopiller, 44 milliarder m³ biogas og 10 millioner tons bioethanol (se tabel 1).

Biobrændstoffer

Produktionen af bioethanol, baseret på majs, startede allerede i 2002 og var i 2007 på 1,45 millioner tons om året. Biodiesel er først kommet på banen fra 2006.

En målsætning i den 11. femårsplan om at nå op på 5,2 millioner tons biobrændstoffer i 2010 blev imidlertid ændret som følge af fødevarerprisernes himmelflugt i 2008. Af samme årsag

stoppede man udbygningen af anlæg til 1. generations bioethanol fra majs. I dag er der fire fabrikker, men der bliver ikke bygget flere, og i stedet forskes der intensivt i 2. generations bioethanol baseret på overskudshalm.

Oprindeligt var det målet at nå op på 12 millioner tons biobrændstoffer i 2020, men det er uklart, om det stadig indgår i planerne. Hvis det er tilfældet, er det en meget ambitiøs målsætning, da det svarer til 15 procent af behovet for brændstof til transportsektoren i 2020. Den kinesiske struktur med topstyring og femårsplaner har dog vist sig at være meget effektiv, så det vil ikke være umuligt at nå målene.

Kineserne ser bioenergi som et af mange tiltag for at udvikle landdistrikterne ved at øge den lokale indkomst samt udvikle den økonomiske og sociale kapital på landet. Desuden betragtes produktionen af bioenergi som et sikkerhedsspørgsmål, da det mindsker afhængigheden af importeret olie.

Biogas

Biogasproduktion er særdeles udbredt i små husstands anlæg, hvor gassen anvendes til madlavning. Anlæggene er så simple, at de nærmest kan sam-

menlignes med gammeldags septiktanke med en slange til at opsamle gassen. Vi fik desværre ikke mulighed for at se anlæggene, men fik oplyst, at der findes 18 millioner anlæg, som forsyner 160 millioner mennesker med biogas. I 2020 er det planen, at 300 millioner kinesere skal forsynes med gas fra små biogasanlæg.

Større biogasanlæg findes også. I 2010 forventer man at nå op på 6.300 anlæg, og målet er at få etableret 16.000 større biogasanlæg inden 2020. I den sammenhæng kan vores hjemlige Grøn Vækst plan godt blegne noget.

Restprodukter

Kinas landbrug producerer meget store mængder restprodukter, der kan anvendes til bioenergi. På årsbasis er der blandt andet fire millioner tons husdyrgødning og 700 millioner tons overskudshalm. I dag brændes meget af halmen af på markerne med betydelig forurening til følge.

Udfordringen består blandt andet i at få indsamlet restprodukterne fra de små brug på gennemsnitlig 0,3-0,6 hektar. Cirka 60 procent af alle svin produceres i små familiebedrifter med under 50 dyr, typisk kun 1-5 dyr. I dag vil det dog næppe være rationelt at anvende biomassen herfra til andet end gødskning eller små individuelle biogasanlæg.

Men udviklingen går mod færre og større gårde, hvilket vil forenkle indsamlingen af restprodukter fra landbruget. Nogle forskere hævder, at man har organiseret systemer til indsamling af ris- og hvedehalm, så det kan købes til energiformål for 60-70 US \$ per ton.

Energiafgrøder

Der forskes en del i energiafgrøder på mange af de institutioner, vi besøgte. Generelt lyder meldingerne dog på, at energiafgrøder kun skal dyrkes på marginale jorder, da man ikke vil risikere, at det går ud over produktionen af fødevarer. Eksempelvis afprøver man forskellige energiafgrøder på en lang og cirka fem kilometer bred kystzone, der er saltpåvirket af tidevand.

De afgrøder, der testes, er blandt andre raps og jordskokker, men der

	2010	2020
Installeret effekt af bioenergi (GW)	5,5	30
Heraf affaldsbiomasse fra land og skovbrug (GW)	4	24
Installeret effekt af husholdningsaffald til energi (GW)	0,5	3
Millioner tons biomasse piller	1	50
Millioner tons bio-ethanol	2	10
Millioner tons biodiesel	0,2	2
Milliarder m ³ biogas	19	44
Antal større biogasanlæg (gylle)	4700	10.000
Antal større biogasanlæg (industriaffald)	1600	6000
Millioner husstande, der bruger biogas	40	80

Tabel 1. Planer for udbygning af bioenergisektoren i Kina (National Development and Reform Commission, 2007)

udføres også forsøg med mere eksotiske planter som barbadosnød (*Jatropha*) og alger. Raps og barbadosnød har potentiale til produktion af bioenergi på nogle af marginaljorderne.

På Nanjing Agricultural University arbejder forskerne seriøst med at forædle jordskokker. Planten producerer inulin, som kan anvendes til fødevarer, medicin og biobrændstoffer. Der er helt sikkert store potentialer i at forædle planten mod et højere indhold af inulin til brug for bioraffinaderier, hvor man kan få en række forskellige produkter ud af planten.

Samarbejde

Den danske delegationen har udarbejdet en markedsbeskrivelse, som findes på www.cbmi.dk. Region Midt's erhvervsfremmekontor i Shanghai har været særdeles behjælpelig med at lægge et godt program, og uden deres medvirken havde det ikke været muligt at møde så mange relevante forskere og institutioner.

I Kina er hierarkiet lidt uigennemsigtigt i starten, men kommer man ind på det rette niveau, er dialogen åben og imødekommende. Det var dog ikke muligt at komme på besøg på en svinefarm eller en ethanolfabrik, men



foto: cbmi

Rundvisning i laboratoriet af professor Yonghao Luo på Shanghai University, Biomass Research Centre.

- ▶ det vil kunne lade sig gøre på næste tur nu, hvor der er etableret personlige kontakter.

Samarbejdet mellem danske og kinesiske uddannelsesinstitutioner har hidtil været begrænset. Det vil være muligt at forbedre flere af de anvendte metoder til behandling af biomasse til produktion af bioethanol. En anden mulighed kunne være, at danske universiteter vil kunne påvise de miljømæssige fordele ved produktion af biogas som en del af den kinesiske indsats for at nedbringe emissionerne af især N, P og GHG fra gødning.

Danske virksomheder har mulighed for at lave forretninger i Kina, men det kræver et godt forarbejde og brug af nye koncepter, for at markedet kan blive interessant. Hierarkiet, den stærke offentlige styring og logistikken for at få biomassen konverteret til energi er tre åbenbare udfordringer.

Den danske delegation udarbejder en markedsbeskrivelse, som vil kunne findes på www.cbmi.dk under viden.

Knud Tybirk er ansat i AgroBusiness Park, Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation (CBMI), e-mail: kt@cbmi.dk. ■

Her forsker kineserne i bioenergi:

Shanghai University, Biomass Research Centre

- Mikroalger til produktion af biobrændstoffer, dampteknologier til raffinering af bioolie, H₂ separering, fermentering af sweet sorghum planten, termisk forgasning samt biogas fra husdyrgødning.

Shanghai Inst. of Biol. Sciences

- Syntese biologi, det vil sige manipulering af planter og genetik med det formål at producere butanol fra majs, diesel, brint og methan ud fra lignocelluloser. Kina har erfaringer med butanolproduktion siden 1950'erne. Butanol anvendes som motorbrændstof.

Nanjing Agricultural University

- Teknikker til at fjerne N og P og giftstoffer fra spildevand.
- Bioenergiplaner på saltholdige jorder (Jatropha, jordskokker, raps).
- Anvendelse af akkspiret korn til ethanolproduktion.
- Halm som energikilde til 2. generations ethanolanlæg.

Zhejiang University, Hangzhou

- Landbrugsaffald, herunder især halm, der kan anvendes til flash pyrolyse, forbrænding, forgasning, biodiesel, fermentering og biogas.
- Superkritiske processer og udvikling af katalysatorer til konvertering af forskellige brændstoftyper.

Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou

- Forædling af forskellige landbrugsafgrøder, herunder raps.
- Kompostering af fast biomasse, dyrkning af maddiker i husdyrgødning til produktion af fjerkræ.
- Spildevandsbehandling, oxidering og ozonering.
- Staldsystemer til svin (dybstrøelse til små-skala produktion).

Zhejiang Energy Research Institute, Hangzhou

- Solvarme, elceller, vind, samt kortlægning af potentialet for bioenergi.

East China University of Science & Technology (ECUST), Shanghai

- Intensiv forbehandling af halm og risavner, blandt andet ved brug af mineraliske syrer, så biomassen kan anvendes til produktion af 2. generations bioethanol. Har et demonstrationsanlæg, der producerer 600 tons bioethanol om året.
- Bedre anvendelse af restprodukter fra landbruget.

Japan køber DONG's teknologi til bioethanol

DONG's datterselskab Inbicon har fået sin første eksportordre. Firmaets teknologi skal nu bruges til at omdanne affald fra palmeolieindustrien til bioethanol.

– Det her er en vigtig milepæl i kommercialiseringen af Inbicons teknologi. Med den seneste udvikling af enzymteknologien hos Danisco Genencor and Novozymes er vi nu parate til at etablere fuldskalaanlæg over hele verden, udtaler Inbicons administrerende direktør Niels Henriksen i en pressemeddelelse.

Det er den japanske industrigigant Mitsui, der har købt rettighederne til at etablere en række anlæg i Sydøstasien, baseret på Inbicons teknologi. Ordren kommer kun få måneder efter, at Inbicon satte gang i produktionen af bioethanol fra halm på et anlæg i Kalundborg.

Inbicon og Mitsui har haft et tæt samarbejde gennem det seneste års tid, hvor man blandt andet har testet, hvordan forskellige restprodukter fra palmeolieindustrien kan bruges til produktion af bioethanol. Det er biomasse, som normalt bare ligger og rådner op, men som har vist sig at være udmærket som råvarer til produktion af bioethanol. I modsætning til dansk produceret halm bliver der således ikke tale om de store udgifter til indkøb af biomasse, og det giver gode muligheder for at etablere fuldt kommercielle anlæg.

Inbicons ethanolanlæg i Kalundborg blev indviet den 18. november sidste år. Anlægget kan omdanne 30.000 tons halm om året til bioethanol, foder og brændselspiller. Ifølge Inbicon er der tale om et af verdens største anlæg til produktion af 2. generationsbiobrændstoffer, men der er dog ikke tale om et produktionsanlæg i traditionel forstand. Skal der være økonomi i denne type anlæg, skal man op på en kapacitet på omkring 500.000 tons biomasse om året. *TS*

Halmudbyttet kan øges med 50 procent

Landbruget kan levere betydeligt mere halm end i dag ved at satse på de sorter, der giver et stort halmudbytte. Enkelte sorter kan således øge halmudbyttet med omkring 50 procent, uden at det har nogen nævneværdig indflydelse på udbyttet af kerner.

I de senere år har der været stigende efterspørgsel efter halm til energiformål, ligesom der er kommet øget fokus på nedmulding af halm af hensyn til klimaet og jordens frugtbarhed.

Vi får med andre ord brug for mere halm i årene fremover, og derfor kan der være god grund til at se på, hvor stort udbyttet er fra de forskellige sorter. Det fortalte udviklingskonsulent Søren Ugilt Larsen fra Agrotech om på årets planteavlskongres i Herning Messecenter.



arkivfoto: torben skøtt/biopress

I 2008 og 2009 er der målt udbytter af halm og kerner for ti udvalgte sorter af vinterhvede. Resultaterne viser, at halmudbyttet varierede fra 26,4 til 41,3 hkg tørstof pr. hektar i 2008 og fra 33,7 til 48,1 i 2009. Halmudbyttet fra de bedste sorter har således været cirka 50 procent højere end fra de dårligste sorter.

Med hensyn til udbyttet af kerner var der kun tale om mindre variationer, og der var ingen klar sammen-

De bedste sorter af vinterhvede giver cirka 50 procent mere halm end de dårligste.

hæng mellem halmudbytte og kerneudbytte i hverken 2008 eller 2009.

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 8, februar 2010. TS

Sort	Halm	Kerner
Viscount	33,7 hkg	77,5 hkg
Ambition	35,8 hkg	76,2 hkg
Hereford	37,8 hkg	80,3 hkg
Mariboss	43,0 hkg	77,2 hkg
JB Asano	48,1 hkg	75,1 hkg

Tabel. 2. Udbyttet pr. hektar af halm og kerner for udvalgte sorter i 2009.

Fokus på grøn forskning

Det Strategiske Forskningsråd sætter i 2010 fokus på grøn forskning. Ud af en samlet bevilling på 1,1 milliard kroner vil 338 millioner kroner blive brugt på klimatilpasning og udvikling af fremtidens energisystemer.

Med Finansloven for 2010 har politikerne besluttet at sætte fokus på grøn forskning, hvilket blandt andet afspejler sig i opslagene fra Det Strategiske Forskningsråd.

Strategisk forskning er forskning inden for områder, der har høj politisk prioritet. Der kan både være tale om grundforskning og forskning med en mere anvendelsesorienteret tilgang. I 2010 er der en samlet ramme på 1,1 milliard kroner, hvoraf godt 300 millioner er reserveret til energisystemer, 30 millioner til klima og 60 millioner til grøn transport (se tabel 3).

Strategiske forskningsprojekter er typisk både større og af længere varighed end projekter, der finansieres via EUFP og Energinet.dk. Derved bliver det muligt at have en mere tværvideenskabelig tilgang til projekterne, der normalt involverer flere



arkivfoto: torben skøtt/biopress

forskningsmiljøer samt nationale og internationale aktører.

Som noget nyt vil rådet igangsætte et pilotforsøg inden for fødevarer og energi ved at lave to koordinerede opslag sammen med Rådet for Teknologi og Innovation. Det Strategiske Forskningsråd forventer at bidrage med cirka 70 millioner kroner til de to pilotforsøg, hvor det er hensigten at skabe større og længerevarende strategiske forsknings- og innovationscentre.

Fremover vil Det Strategiske Forskningsråd lægge endnu større vægt på internationalt samarbejde. Ikke bare ved inddragelse af internationale samarbejdspartnere i dansk forankre-

I 2009 bevilgede Det Strategiske Forskningsråd 22 millioner kroner til forskningscentret Bio4Bio på Københavns Universitet.

de projekter, men også gennem bilaterale opslag med Kina inden for energiforskning og med Indien inden for forskning i fødevarer.

Der er ansøgningsfrist til strategisk forskning inden for bæredygtig energi og miljø den 23. april 2010.

Artiklen har tidligere været bragt i Nyhedsbrev om Forskning i Bioenergi, nr. 8, februar 2010. TS

Temaer	Mio. kr.
Bæredygtig energi og miljø	338
Sundhed, fødevarer og velfærd	279
Strategiske vækstteknologier	176
Individ, sygdom og samfund	209
Transport og infrastruktur	60
Uddannelse og kreativitet	27
EU netværksmidler	7

Tabel. 3. Fordeling af den samlede ramme fra Det Strategiske Forskningsråd i 2010.

Deaktivering af katalysatorer ved tilsatsfyring

Titel: Langtidstest af HD SCR katalysatordeaktivering ved halmtilsatsfyring

Ansvarlig: DONG Energy A/S, Charles Nielsen, e-mail: chani@dongenergy.dk, ☎ 99 55 20 93

Tilskud: 2.948.000 kroner

Projektet har haft til formål at gennemføre langtidstest af SCR katalysatorer på støvfyrede kraftværker, hvor der fyres med kul tilsat halm.

Tilsatsfyring, som det også kaldes, er en billig og effektiv metode til at udnytte biobrændsler på eksisterende kraftværker, men der har været frygt for, at katalysatorerne vil blive ødelagt af kaliumsalte. Erfaringerne viser nemlig, at SCR katalysatorer på rene halmfyrede værker kan blive ødelagt efter kun 1.000 timers drift.

I projektet er 26 SCR katalysatorer blevet testet gennem længere tid på Studstrupværkets blok 3 og 4. Begge enheder er oprindeligt kulfyrede, men i dag er 8-10 procent af kullene blevet erstattet med halm. Katalysatorerne er blevet testet i op til 19.000 timer, men undervejs i forløbet er enkelte elementer taget ud til nærmere undersøgelse. Den del af arbejdet har Haldor Topsøe og Institut for Kemiteknik på Danmarks Tekniske Universitet stået for.

Resultaterne viser, at kulasken reagerer med halmasken, hvorved der dannes kaliumsilikat, som ikke er giftigt for katalysatorerne. I modsætning til rene halmfyrede værker blev der praktisk taget ikke registreret kaliumsulfat, som vil kunne ødelægge katalysatorerne i løbet af ganske kort tid. Deaktivering på Studstrupværket blev målt til kun 1,6 procent for hver 1.000 timers drift.

Konklusionen er, at så længe halmandelen er på under ti procent, svarer deaktivering til, hvad man kan forvente på et rent kulfyret værk. Det er muligt, at halmandelen vil kunne øges yderligere, men det vil kræve nye undersøgelser.

Resultaterne understøtter konklusionen fra et tidligere PSO-projekt: Eltra 4108 – SCR-katalysatordeaktivering og overhederkorrosion. Her var halmandelen på kun syv procent, og målinger blev stoppet efter 5.000 timers drift, men resultaterne minder meget om det, der er opnået i nærværende projekt.



Studstrupværket ved Århus.

Biogas til nettet – fase 1



Titel: Biogas til nettet – fase 1

Ansvarlig: Naturgas Midt-Nord I/S, Per Jensen, e-mail: pej@naturgas.dk, ☎ 8727 8727

Tilskud: PSO – 1.609.000 kroner

Projektet omhandler afsætning af biogas til naturgasnettet – en model som er udpræget i vore nabolande, men som endnu ikke er afprøvet i Danmark. Udgangspunktet har været et konkret biogasanlæg, nemlig Thorsø Biogas- & Miljøanlæg, der i dag leverer gas til Thorsø Kraftvarme. Biogasanlægget har en kontrakt med kraftvarmeværket om at aftage gassen, men kontrakten udløber i 2014, så det har været nødvendigt for biogasanlægget at se sig om efter andre alternativer.

Med det udgangspunkt er der blevet undersøgt en række forskellige aspekter i forhold til afsætning af opgraderet biogas via naturgasnettet. Projektet har været delt op i nedenstående otte arbejdsopgaver:

1. Opgraderingsteknologier og krav til gaskvalitet
2. Barrierer for afsætning af biogas til naturgasnettet
3. Styring af naturgasnettet
4. Ansvarsforhold og ejerstruktur
5. Anvendelse af opgraderet biogas
6. Driftsøkonomi
7. Samfundsøkonomi
8. Miljøforhold.

Der er udarbejdet fem forskellige scenarier for den fremtidige afsætning af biogas. I de fire af scenarierne bliver gassen fortsat brugt til drift af kraftvarmeanlæg, mens et enkelt omhandler opgradering og salg af biogas til naturgasnettet.

Der findes en række forskellige teknologier til opgradering af biogas, hvoraf især to vil være velegnede i Danmark: Det drejer sig dels om vandskrubberanlæg, dels om PSA-processen, der er baseret på aktivt kul.

Det er vurderet, at omkostningerne til opgradering vil være på 0,85 og 0,88 kroner per kubikmeter metan ved anvendelse af henholdsvis et vandskrubberanlæg og et PSA-anlæg. For begge anlæg er der inkluderet omkostninger til reduktion af metanemission, men der er ikke regnet med tilsætning af propan, da det ikke er nødvendigt for at opfylde kravene i Gasreglementet.

Deltagerne i projektet har været Naturgas Midt-Nord, Dansk Gasteknisk Center, DONG Energy, NIRAS, Thorsø Biogas Forening Danske Kraftvarmeværker, Brancheforening for decentral kraftvarme samt Foreningen af Danske Biogasanlæg.

Rapporten kan downloades fra www.dgc.dk. Se under publikationer/rapporter/rapporter 2009.

Inbicons ethanolanlæg – WP1

Titel: Demonstration af 2. generations bioethanol produktion WP1: Design and engineering

Ansvarlig: DONG Energy A/S – Inbicon A/S, Niels Henriksen, e-mail: niehe@inbicon.com, © 7622 2404.

Tilskud: EFP – 22.500.000 kroner

Det overordnede formål med projektet har været etablering af et demonstrationsanlæg til produktion af 2. generations bioethanol baseret på halm som råvare. Opførelsen og driften af anlægget skal samtidig eftervise fordelene ved at integrere et kraftværk med et raffinaderi, en optimal anvendelse af biprodukter samt en bæredygtig proces med minimale miljøeffekter.

Nærværende projekt vedrører den første af i alt fire arbejds-pakker (WP) for demonstrationsanlægget. WP1 har haft til formål at udvikle designgrundlaget for demonstrationsanlægget. Herefter har der været en opførelsesfase (WP2), en idriftsættelsesfase (WP3), og endelig en forskningspakke (WP4), som vil danne grundlag for fremtidige aktiviteter omkring demonstrationsanlægget i Kalundborg. Status dags dato er, at WP1 er gennemført, WP2 og WP3 er i gang, mens WP4 netop er startet op.

Anlægget er designet under hensyn til minimal miljøbelastning, herunder recirkulation af procesvand – det vil sige stort set uden udledninger til miljøet. Med en kapacitet på 4 tons halm i timen vil demonstrationsanlægget ved kontinuert drift årligt producere 5,4 millioner liter bioethanol, 13.100 tons fast biobrændsel og 11.250 tons foder. Anlægget vil dog være fleksibelt, så der for eksempel kan produceres mere ethanol på bekostning af biprodukterne.

Det færdige design var af så høj en kvalitet, så DONG Energy' bestyrelse valgte at bygge anlægget med støtte fra EUDP. Resultatet af arbejdet under WP1 er således meget håndgribeligt i form af et demonstrationsanlæg placeret ved Asnæsværket i Kalundborg.

Et væsentligt element i demonstrationen er at eftervise synergieffekter mellem energi-, transport- og landbrugssektoren. Det vil sige primært udnyttelsen af kraftværkets spildvarme og kølefaciliteter, raffinaderiets produktfinish og logistik samt landbrugets adgang til råvare- og fodermarkeder. Den valgte placering ved Asnæsværket i Kalundborg midt i den eksisterende industrisymbiose er ideel i den sammenhæng.



foto: dong energy/inbicon

Inbicons demonstrationsanlæg i Kalundborg.

Partikler fra decentrale kraftvarmeværker



foto: force technology

Teknikere fra Force Technology i færd med at udføre målinger af partikler på Vestforbrænding. Emissionen af fine og ultrafine partikler fra de affaldsfyrede anlæg har vist sig at være meget lav, da anlæggene bruger effektive posefiltre og elektrostatisk filtre.

Titel: Karakterisering af ultrafine partikler fra decentrale kraftvarmeværker

Ansvarlig: FORCE Technology, Karsten Fulgsang, e-mail: kfu@force.dk, © 4326 7000

Tilskud: PSO – 468.000 kroner

Projektet omhandlede karakterisering af partikler fra ni danske kraftvarmeværker. De udvalgte anlæg var: Tre affaldsfyrede, to biomassefyrede, to gasfyrede og ét dieselfyret anlæg.

Resultaterne viser, at emissionen af fine og ultrafine partikler fra de affaldsfyrede anlæg var meget lav. Det skyldes brugen af effektive posefiltre og elektrostatisk filtre på denne type anlæg.

Der var en tydelig opkoncentrering af metaller for partikler fra både de affalds- og biomassefyrede anlæg. Partiklerne fra affaldsanlæggene havde generelt en krystallinsk og porøs struktur. Der var en relativt høj andel af K og Na i partiklerne mellem 0,1 µm og 1 µm.

Kulstof og i mindre omfang ilt er de dominerende grundstoffer i partikler fra de biomasse-, gas- og dieselfyrede anlæg. Partikler fra de gas- og dieselfyrede anlæg udgøres overvejende af større eller mindre sodpartikler med en diameter på 0,03-0,05 µm.

I projektet blev målt et stort antal partikler i emissionen fra de kraftvarmeværker, der bruger gasmotorer. Det skyldes formentlig anvendelse af smørelolie i gasmotorerne.

Analysen af partikler fra de gasfyrede anlæg viste, at sodpartiklerne med en diameter på mellem 0,15 µm – 1,5 µm kunne være såvel massive som hule. Hule sodpartikler fra denne type anlæg er ikke fundet beskrevet i litteraturen. De massive partikler bestod af en fast kerne af kulstof med en overflade, der formodentlig består af organiske stoffer, dannet ved kondensation under forbrændingsprocessen.

Deltagelse i IEA Bioenergy Task 42 og Task 39

Titel: Deltagelse i IEA Bioenergy Task 42 "Biorefineries: Co-production of Fuels, Chemicals, Power and Materials from Biomass" 2007, 2008 and 2009

Ansvarlig: Københavns Universitet – Center for Skov, Landskab og Planlægning, Henning Jørgensen, e-mail: hnj@life.ku.dk, © 35331704.

Tilskud: 300.000 kroner

Projektet gik oprindeligt ud på at varetage den danske deltagelse i det internationale netværk IEA Bioenergy Task 42 "Biorefineries: Co-production of Fuels, Chemicals, Power and Materials from Biomass", men fra 2009 blev det udvidet til også at omfatte Task 39 "Commercialization of 1st- and 2nd-Generation Liquid Biofuels from Biomass".

Begge netværk har til formål at fremme og understøtte forskningen, udviklingen og kommerialiseringen af processer til bæredygtig produktion af bioenergi, herunder 2. generations biobrændstoffer, samt biokemikalier og biomaterialer.

Et af virkemidlerne er vidensdeling imellem landene samt etablere netværk og kontakter mellem aktørerne inden for området. Til det formål er der løbende blevet udarbejdet landerapporter og analyser til belysning af problemstillinger. Emnerne har blandt andet været udviklingspotentiale inden for specifikke teknologier, afdækning af politiske og lovgivningsmæssige barrierer samt udviklings- og implementeringsstrategier i medlemslandene.

Fra dansk side har projektet endvidere haft til formål at profilere den danske indsats inden for området. Det er blandt andet sket gennem nyhedsbreve, præsentationer og i forbindelse med udarbejdelse af rapporter og brochurer.

Udvikling af tilsatsfyring

Titel: Modellering af biokraftværker - Udvikling af tilsatsfyring

Ansvarlig: DONG Energy A/S, Charles Nielsen, e-mail: chani@dongenergy.dk, © 99 55 20 93

Tilskud: 13.681.000 kroner

Hovedformålet for projektet har været koordinering af aktiviteter inden for følgende hovedområder med relation til samfyring af kul og biomasse:

1. korrosion
2. asketransformation
3. NO_x-dannelse
4. kanaldannelse

Korrosionsaktiviteterne har været koncentreret om at tilvejebringe et bedre beslutningsgrundlag for design af nye biomassefyrede anlæg samt belyse mulighederne for at konvertere eksisterende kulfyrede anlæg til tilsatsfyrede anlæg. Der er udført fuldskalaforsøg på:

- ristefyrede kedler til halm
- ristefyrede kedler til flis
- ristefyrede kedler til affald
- støvfyrede kedler til træpiller
- støvfyrede kedler til kul og halm

Projektet om asketransformation har haft til formål at skaffe viden om, hvilken betydning brændslet har for flyveaskens egenskaber ved tilsatsfyring. Disse egenskaber har betydning for såvel drift af kedelanlæggene samt for mulighederne for genanvendelse af flyveasken. Fokus har i særlig grad væ-

ret rettet mod kalium og klor, som findes i relativt store mængder i halm. Projektresultaterne er opnået gennem en række kontrollerede laboratorieforsøg på DTU. Yderligere forsøg har skaffet viden om optagelsen af gasformig kaliumklorid i kulsken og har vist, at optagelsen varierer meget afhængig af kul-typen. Ud over den forbedrede forståelse af disse faktorer er resultaterne desuden implementeret i en opdateret model for belægningsdannelse i tilsatsfyrede kedler.

Projektet om NO_x-dannelse har primært været fokuseret mod udvikling af en model for NO_x-kemien under forbrændingsbetingelser og at implementere denne i CFD modelværktøjet "ANSYS Fluent®". Modellen vil blive brugt til at reducere NO_x-emissionen fra tilsatsfyrede anlæg ved optimering af brænderne.

Projektet om kanaldannelse ved tilsatsfyring har skaffet viden om, hvor meget koncentrationer af skadelige elementer i røg-gas og flyveaske varierer i tilsatsfyrede anlæg. Der er udført en række fuldskalaforsøg på Studstrupværket ved Århus, hvor cirka ti procent af det indfyrede brændsel er halm. Da halmen indfyres på ganske få af kedlens brændere er det oplagt, at større koncentrationsforskelle kan optræde med skadelige følgevirkninger for overhederne. I forsøgene er der målt lokale gaskoncentrationer, og der er udtaget askeprøver fra forskellige positioner i kedlen. Resultaterne anvendes til at forbedre beslutningsgrundlaget for brændselsvalg og fyringsmetodik.



foto: torben skott/biopress

I projektet er der udført fuldskalaforsøg på blandt andet ristefyrede anlæg til affald som her i Måbjerg.

Udvikling af multibrændselsovn

Titel: Nye biomasse teknologier

Ansvarlig: Dall Energy Aps, e-mail: jdb@dallenergy.com, © 2987 2222

Tilskud: 2.520.000 kroner

I projektet har Dall Energy udviklet en såkaldt multibrændselsovn i samarbejde med SEM Stålinindustri. Princippet er baseret på en kombination af forgasning og forbrænding, hvilket indebærer en række fordele: Anlægget bliver billigere, udslippet af skadelige stoffer reduceres, og effekten kan reguleres ned til omkring 10 procent, så man sparer udgifterne til en "sommerkedel".

Ovnen blev prøvekørt første gang i december 2009, og resultaterne herfra ser meget lovende ud. Udslippet af NO_x, CO og støvpartikler har således vist sig at være mindre end fra et traditionelt ristefyret anlæg, og driften er stabil helt ned til 10 procent last.

Projektet er nærmere omtalt på side 6.

Ethanol som motorbrændstof

Titel: Ethanol som motorbrændstof

Ansvarlig: DTU Mekanik, Jesper Schramm, e-mail: js@mek.dtu.dk, ☎ 4525 4179

Tilskud: EFP – 369.000 kroner

Projektet er tæt knyttet til Danmarks samarbejde i "IEA Advanced Motor Fuels Agreement". Resultaterne er beskrevet i 2 rapporter:

En hovedrapport [1], hvor ethanols anvendelighed i primært forbrændingsmotorer er beskrevet. Rapporten indeholder en beskrivelse af de tekniske muligheder og begrænsninger, som anvendelsen medfører. Der fokuseres specielt på tekniske spørgsmål omkring blandbarhed med andre brændstoffer som benzin og diesel, samt på brændstoføkonomi og emissioner. Rapporten konkluderer, at der er mange muligheder for at anvende ethanol til transportformål. Med hver enkelt anvendelse følger tilsvarende udfordringer. Der synes dog at være tekniske løsninger i alle tilfælde.

Foruden hovedrapporten er resultatet af de enkelte IEA medlemslandes synspunkter omkring implementeringen af ethanol i transportsektoren i de respektive lande beskrevet i en separat rapport [2].

[1] Larsen, U., Johansen, T. and Schramm, J. "Ethanol as a Fuel for Road Transportation". Report of IEA Advanced Motor Fuels Agreement, Annex XXXV, May 2009.

[2] Schramm, J. "Ethanol as a Fuel for Road Transportation - Implementation report for the IEA Advanced Motor Fuels Agreement Countries". Report of IEA Advanced Motor Fuels Agreement, Annex XXXV, December 2009.

Deltagelse i IEA Bioenergy Agreement Task 31

Titel: Deltagelse i IEA's task 31 "Biomass production for energy from sustainable forestry" 2007, 2008 og 2009

Ansvarlig: Center for Skov, Landskab og Planlægning – KU, Niels Heding, e-mail: nihe@life.ku.dk, ☎ 3533 1500

Tilskud: EFP – 300.000 kroner

Projektet omfatter dansk deltagelse i IEA Bioenergy's Task 31 "Biomass production for energy from sustainable forestry" i perioden 2007 – 2009. TASK 31 har til formål at fremme international udveksling af ideer og resultater vedrørende en intensiv produktion af brændselsflis på en økologisk bæredygtig måde fra skovbruget. Arbejdet har blandt andet omfattet følgende problemstillinger:

- Udarbejdelse af prognoser for potentielle træbrændselsressourcer
- Tilrettelæggelse af skovdriften for at producere mere brændselsflis
- Den tekniske produktion fra stød til kraftvarmeværk
- Opmåling og værdiansættelse
- Langtidsopbevaring
- Økologiske konsekvenser
- Arbejdsmiljøet omkring håndtering af flis

Samarbejdet i IEA-grupperne udmøntes blandt andet i form af arbejds møder og workshops cirka hvert halve år. På møderne udveksles erfaringer, nyeste udvikling diskuteres, og igangværende opgaver rapporteres og evalueres. I perioden fra 2007 til 2009 har USA, Canada, Norge, Sverige, Finland, Danmark, England og Tyskland deltaget i samarbejdet.

Udvikling og afprøvning af motorkoncept

Titel: Udvikling og afprøvning af motorkoncept optimeret til motordrift

Ansvarlig: Risø DTU, Jesper Ahrenfeldt, e-mail: jeah@risoe.dtu.dk, ☎ 4677 4186

Tilskud: PSO – 1.969.000 kroner

Projektet omhandler udvikling og afprøvning af et motorkoncept, der er optimeret til drift på forgasningsgas. Konceptet er baseret på dieselmotorer med højt kompressionsforhold og høj virkningsgrad.

Der er udført forsøg med to identiske motorer, men med forskellige kompressionsforhold: Én med et kompressionsforhold på 9,5:1 svarende til, hvad motorfabrikanten anbefaler til naturgas, og én med et kompressionsforhold på 18,5:1 svarende til dieselversionen af den pågældende motor. Ved drift på forgasningsgas var det muligt at øge akselvirkningsgraden på motoren fra cirka 35 procent til 40 procent ved at øge kompressionsforholdet.

De ombyggede motorer er blevet udstyret med en nyudviklet gasrampe og et nyt blandingsaggregat til gas/luft. Motorerne er efterfølgende afprøvet på gas fra Viking-forgasseren på DTU, og forsøgene har vist, at motordrift ved højt kompressionsforhold er muligt på gas fra en trinopdelte forgasser.

En økonomisk analyse af omkostningerne ved ombygningen af et kommercielt motor/generatoranlæg fra diesel til forgasningsgas viser, at et anlæg på 200 kW_{el} vil kunne etableres for omkring 370.000 kroner. Det skal sammenlignes med, at tilsvarende anlæg baseret på et kommercielt generatoranlæg til naturgas vil koste over en million kroner (2008 priser).

Projektet har således vist, at det nye koncept kan forbedre økonomien og virkningsgraden i trinopdelte forgasningsanlæg. Det vil dog næppe være muligt at opnå garanti fra motorleverandøren ved ombygning fra diesel til forgasningsgas.

Deltagelse i IEA Bioenergy Agreement Task 32

Titel: IEA Bioenergy Agreement Task 32: Biomass Combustion and Co-firing.

Ansvarlig: Force Technology, Anders Evald, e-mail: aev@force.dk, ☎ 7215 7750

Tilskud: EFP – 309.000 kroner

Projektet omfatter dansk deltagelse i IEA Bioenergy's Task 32 "Combustion of Biomass" – baseret på de tidligere gode erfaringer fra samarbejdet helt tilbage fra 1998. Samarbejdet i IEA-grupperne udmøntes blandt andet i form af arbejds møder og workshops cirka hvert halve år. På møderne udveksles erfaringer, nyeste udvikling diskuteres, og igangværende opgaver rapporteres og evalueres.

I den forløbne arbejdsperiode har gruppen blandt andet udgivet en revideret udgave af håndbogen Biomass Combustion, afholdt fire møder og arrangeret internationale workshops over temaerne samforbrænding af biomasse, reduktion af emission fra småskala træfyrede anlæg, højere andel af biomasse ved samfyring og nye teknologier til el- og varmeproduktion i stor skala.

Over for de danske interessenter foregår udvekslingen af viden gennem et netværk etableret til formålet, hvor deltagerne modtager relevant materiale fra gruppens arbejde og bidrager den anden vej med forslag og problemer, som kan belyses gennem internationalt samarbejde.

FIB – Forskning i Bioenergi udgives med støtte fra 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 eller ved henvendelse til BioPress på telefon 8617 8507.

BioPress bringer løbende nyheder fra forskernes verden. Følg med på 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
Hjemmeside: www.biopress.dk

Forsidefoto: BioPress og Søren Ugilt Larsen/Agrotech

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 juni 2010.
Deadline for redaktionelt stof er den 15. maj 2010.

Pilletest i stor skala



foto: torben skøtt/biopress

Teknologisk Institut og Andritz, der er storleverandør af pillepressere, er gået sammen om et stort testanlæg til biopiller syd for Kolding.

Efterspørgslen på biomasse stiger markant i disse år, og det er især træpiller, kunderne er interesseret i. Pillerne er et langt mere skånsomt brændsel end for eksempel halm, og så er de nemme at håndtere, uanset om der er tale om private forbrugere, fjernvarmeværker eller kraftværker.

Det danske forbrug af træpiller ligger i dag på omkring en million tons om året, men forbruget forventes at blive fordoblet inden for de nærmeste år.

Det er især kraftværkerne, der har planer om at bruge langt flere træpiller end de cirka 500.000 tons, som de anvender i dag. Pillerne kan med ganske få ombygninger erstatte kul, så det er en nem måde at reducere CO₂-udledningen på.

Med en stigende efterspørgsel på træpiller bliver der behov for helt nye pilletyper. Det vurderer Teknologisk Institut og østrigske Andritz, der er en af verdens førende leverandører af pillepressere. De er nu gået sammen om at etablere et stort testcenter ved Kolding, som blev indviet den 18. marts. Her skal der i fremtiden udføres forsøg med anvendelse af forskellige råvarer, ligesom der skal eksperimenteres med, hvordan energitætheden

kan forøges. Anlægget kan håndtere flere tons træpiller i timen, så der kan laves forsøg i industriel skala.

– Når træstammer findeles og presse til piller, fordobles energitætheden til knap 5 kWh/kg. Det er lidt mindre for kul, der typisk indeholder 6 kWh/kg, forklarer Application Manager Lars Bloch fra Andritz.

Energimængden per kubikmeter er af stor betydning i takt med, at pillerne transporteres over større og større afstand. På det nye testcenter har man derfor planer om at lave forsøg med såkaldt torrefaction, hvor biomassen opvarmes til 200-300 grader, inden den presses til piller. Derved ændres de fysiske egenskaber, og energitætheden øges, så brændslet på mange måder minder om kul, men med den væsentlige forskel, at der er tale om et CO₂-neutralt brændsel.

Ifølge kemiingeniør Jonas Dahl fra Teknologisk Institut vil den form for piller især være velegnede i forbindelse med kulfyrede værker, da de kan pulveriseres i en almindelig kulmølle og kan opbevares udendørs.

– Men den største fordel er måske, at torrefaction giver mulighed for at benytte flere typer biomasse som råvarer. Træ kan hurtigt blive en mangelvare, så hvis vi kan supplere op med forskellige former for restprodukter, er vi nået langt, lyder det fra kemiingeniøren. TS