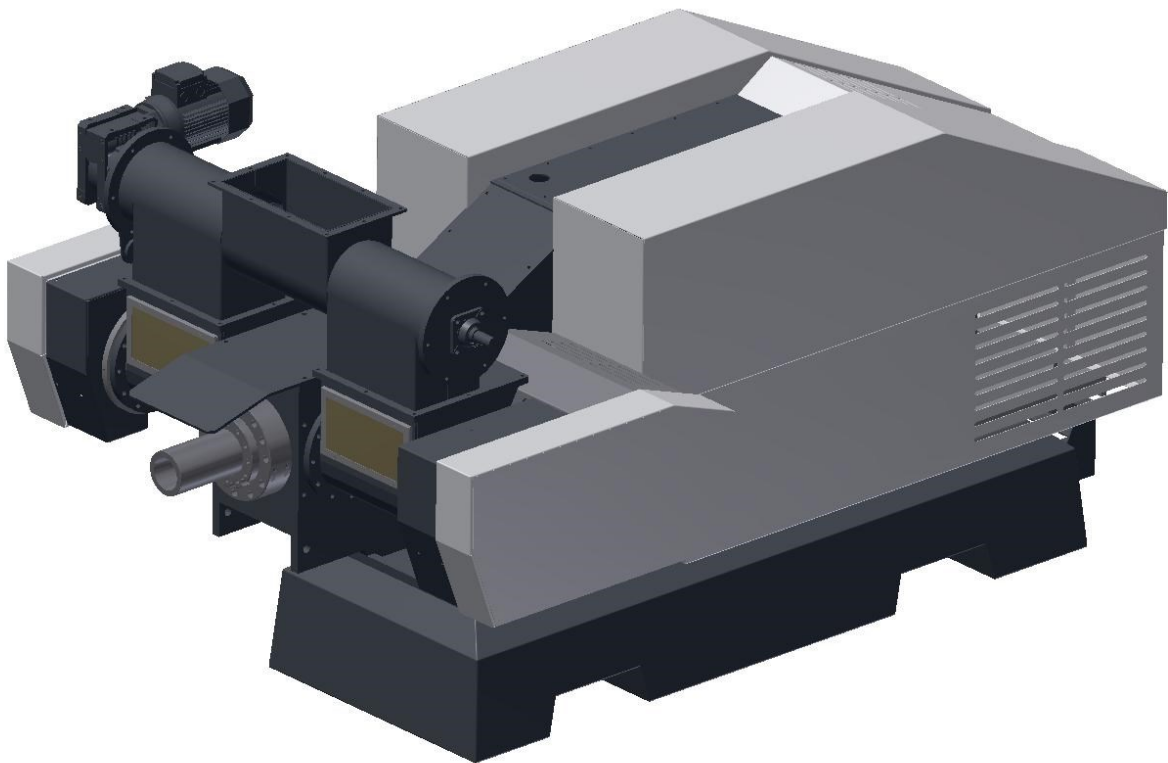


INDUSTRIAL SCALE STRAW-TO-BIOMETHANE CONVERSION

A NEW BIOENERGY AND BUSINESS OPPORTUNITY



Torben A. Bonde
BioFuelTechnology ApS

Mogens Slot Knudsen
C. F. Nielsen A/S

Chitra Sangaraju Raju
Århus Universitet, Forskningscenter Foulum

Henrik B. Møller
Århus Universitet, Forskningscenter Foulum

INDHOLD

Sammendrag	4
Indledning	5
Teknik, kemi og halm	6
Kommentarer til den konventionelle forbehandling	7
Den tekniske løsning.....	9
Kombination med katalysatorer	10
Energiforbrug.....	14
Data og resultater	15
Målingerne	17
Den hygroskopiske egenskab.....	18
Frigivelse af sukker, ethanol perspektivet	19
Demonstration af metoden.....	21
Økonomi og energibalance	26
visionsplan for udbygning af dansk biogasproduktion	29
Biomasse substrater og potentielle mængder	29
Naturgasforbruget i Danmark	30
Nye teknikker.....	31
Et anlægsscenario	32
Økonomi	34
Perspektivering	34
Paul la Cour revisited.....	35
CO ₂ og brint til metan	36
Forslag til Den Danske Regering.....	37
Afslutning	37
Appendix 1: Tilsagnsskrivelsen fra Energistyrelsen og den økonomiske ramme.....	39
Appendix 2 GANTT diagram	41

Appendix 3 The application	42
Title “Industrial scale straw-to-biomethane conversion - a new bioenergy and business opportunity”	42
Purpose	42
Executive summary	42
4.1 Description of the technology and development for the market:	43
4.2 The content and activities in the project	45
4.3 Distribution of rights:.....	46
5.1 Energy-policy objectives:	46
5.2 Research, development and demonstration strategies in the energy field):	47
5.3 Dissemination plans	48
6.1 Target group and the added value for the users):	48
6.2 Analysis of competition	49
6.3 Market potential	49
6.4 Marketing plan.....	50
7.1 Organisation/management and professional competencies.....	51
7.2 Funding.....	51
7.3 Public/private collaboration and researcher training.....	52
7.4 Capital expenditure and operating cost in the project period):	52
7.5 Conditions after the project period	52
7.6 Incentive effect):	52
Appendix 4	53
Status note.....	54
Basic setup	54
.....	54
Procedure	55
Treatments	55
Results	56
Conclusions	56
Recommendation	56

INDUSTRIAL SCALE STRAW-TO-BIOMETHANE CONVERSION- A NEW BIOENERGY AND BUSINESS OPPORTUNITY

SAMMENDRAG

Projektet har udviklet, projekteret, bygget og demonstreret et anlæg til industriel udnyttelse af halm til biogasformål!

Teknikken er i baseret på C. F. Nielsen A/S mekaniske brikette-pressere, og tilpasset det nye formål, at forbehandle og indføde halm i en biogasreaktor med en og samme teknik. Teknikken er tilrettelagt således, at halmen forbehandles via en mekanisk induceret såkaldt ”steam explosion”, som kombineres med ”dilute acid hydrolysis”. Teknikken er endvidere indrettet på en sådan måde, at halmen komprimeres til en densitet på næsten 1, dvs. til en densitet, der svarer til vands. Den komprimerede halm synker derfor ind i væsken i biogasreaktoren og opslæmmes uden videre. Der dannes således ikke flydelag eller andet, og det er nu muligt, at tilsætte halm i industriel målestok til et biogasanlæg.

Et antal laboratoriemålinger af metanpotentialer som funktion af forskellige variationer over forbehandlingen viste, at der i praksis kan opnås et biogasudbytte på 400 m³ per tons halm (svarende til 300 m³ metan per tons vs).

Den dominerende effekt blev opnået med imprægnering af halmen med tilsætning af 1 % eddikesyre. I enkelte tilfælde viste det sig, at imprægnering med 1 % svovlsyre inhiberede metan dannelsen på trods af, at det samlede resultat var positivt.

Der fandtes tillige en signifikant effekt af inkubationstemperaturen efter kompression og under hydrolysen, og måske overraskende viste det sig, at 90°C inkubationer medførte bedre effekter end højere temperaturer (140°C). Dette var konsistent for begge syrer.

En fordobling af vandindholdet fra 15 % til 30 % af tørstofindholdet gav ingen bedre forbehandlings effekt! Dette er overordentligt interessant, idet tilsætning af vand er uønsket – men dette resultat viser, at der kan gennemføres en hydrolyse ved høje tørstofprocenter (80-90 %).

Det maksimale udbytte blev på 360 l metan per kg vs (volatile solids). Dette svarer til ca. 290 l metan per kg halm (85 % tørstof, 95 % vs) eller 450 l biogas per kg halm (ved 65 % metan).

Teknikken blev demonstreret på Forskningscenter Foulums biogasanlæg ved Tjele.

Den samlede energibalance er meget positiv, og der er også tale om en positiv økonomi selv ved moderate afregningspriser for biogas.

Teknikken er perspektiveret i forhold til en generel udvidelse af dansk biogasproduktion. Der er udarbejdet en visionsplan og foreslået en dansk satsning på området, herunder en integration mellem el- og gasnettet via en Poul la Cour kobling med biogasanlæg. En sådan kobling medfører, at der anvendes overskuds-el fra især vindmøller til produktion af brint, som bringes til at reagere med biogassens CO₂ under dannelse af metan.

Det er herunder beregnet, at der kan produceres bionaturgas af samme størrelsesorden som det nuværende naturgasforbrug eller mere, alt efter hvor meget CO₂, der omdannes til metan.

INDLEDNING

Der forekommer to vedvarende og dominerende biomasse ressourcer i det åbne jordbrugslandskab – dvs. husdyrgødning og halm! Heraf er det kun husdyrgødning, som anvendes til biogasformål og da blot ca. 5 % i Danmark og mindre i Europa og på verdensplan.

Halm anvendes ikke til biogasformål! Det er ikke forfatterne til denne rapport bekendt, at halm anvendes til biogasformål i Danmark, Europa eller andre steder i verden. Det er blot bekendt, at i den udstrækning halm anvendes som strøelse i husdyrproduktionen, og i det omfang den heraf følgende husdyrgødning afgasses, da indgår halm i biogasanlæg.

Det er i og for sig ganske overraskende, at blot 5 % af husdyrgødningen afgasses, og at der ikke anvendes halm til biogasformål. I lyset af, at husdyrgødning, dvs. i alt væsentligt kvæg- og svinegylle, er flydende med et tørstofindhold mellem 4-8 %, da er der så at sige plads til ekstra tørstof i biogasanlægget – som især halm!

Et typisk biogasanlæg, som afgasser 100.000 tons flydende husdyrgødning, og som leverer gassen til et decentralt kraftvarmeværk, kan – med rette teknik - uden væsentlige nye investeringer i selve biogasanlægget tillige udnytte f.eks. 10.000 tons halm årligt. Herved vil biogasproduktionen øges fra ca. 2,5 mio. m³ fra husdyrgødningen med ca. 4 mio. m³ fra halmen til i alt 6,5 mio. m³ årligt.

Dette er et meget væsentligt forhold for biogasanlæggets produktion og økonomi. I kraft af den større potentielle biogasproduktion er forholdet ligeledes interessant for samfundets generelle tilrettelæggelse af energiforsyningen, herunder især af vedvarende energi.

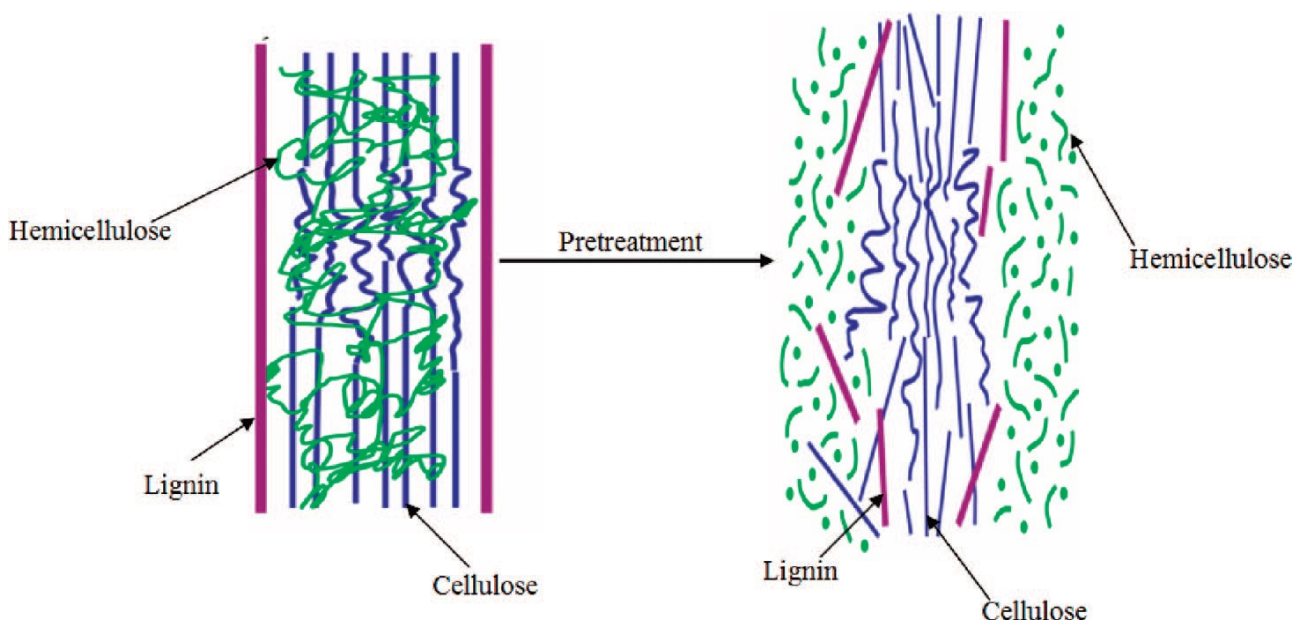
Nærværende projekt har til formål, at udvikle og demonstrere en ny teknik til en systematisk og industriel udnyttelse af halm til biogasformål. Det er endvidere formålet, at perspektivere denne anvendelse i forhold til den generelle energiforsyning, herunder integrationen mellem el- og gasnettet.

TEKNIK, KEMI OG HALM

Halm er et vanskeligt materiale at håndtere. Det er stærkt slidende, særdeles vandskyende, og det har en meget lav densitet, dvs. mindre end 100 kg per m³. Håndtering af halm i enhver sammenhæng, og særligt i biogasanlæg, kræver derfor en særlig teknik.

Desuden består halm overvejende af cellulosefibre, som er krystallinske polymerer af (1-4)- β -D-glucose. Heri indgår hemicellulose, som på tilsvarende vis er en amorf og delvist krystallinsk polymer bestående af (1-4)- β -xylose. Hemicellulose indgår i både fibre og cellevægge. Lignin, en tredje vigtig komponent i halm, er en polymer af phenoler. Såvel hemicellulose som lignin beskytter cellulosen mod ”vejr og vind”, og i denne sammenhæng mod nedbrydning af enzymer og mikroorganismer.

For at udnytte halm effektivt i et biogasanlæg er det således nødvendigt at forbehandle halmen for at oplukke halmens fibre og gøre sukkerstofferne tilgængelige for nedbrydning.



Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 48, No. 8, 2009

Forskningen i anvendelse af halm til bioenergi, især til bioethanol, er særdeles omfattende. Især er der megen litteratur om forbehandling af halm. Der henvises til afsnit 4.1 for en kort redegørelse for den videnskabelige tradition.

Her skal der fremhæves to teknikker som fremstår som de bedste bud på blivende kommercielle teknikker, dvs. såkaldt ”steam explosion” og ”dilute acid hydrolysis” eller på dansk ”damp eksplosion” og ”svag syre hydrolyse”.

Dampekspllosion gennemføres ofte ved temperaturer i intervallet 160-200°C og tilsvarende tryk på 0,60-4,83 MPa. Behandlingstiden varierer fra nogle få sekunder til adskillige minutter før materialet udsættes for atmosfærisk tryk via en eksplosiv dekompression. Processen forårsager nedbrydning af hemicellulose og transformation af lignin pga. den høje temperatur. Hemicellulose nedbrydes af eddikesyre og andre organiske syrer, som dannes under behandlingen – altså via såkaldt autohydrolyse. Lignin nedbrydes ikke i samme grad, men omfordeles på fiberoverfladerne som et resultat af smeltning og depolymerisation / repolymerisation reaktioner.

Denne omfordeling og nedbrydning blotlægger materialet og cellulosefibrene og materialet bliver derfor mere tilgængeligt for enzymatisk nedbrydning og frigivelse af sukkermonomere. Udover disse kemiske effekter har damp eksplosion også en rent mekanisk eller fysisk effekt, idet materialet eksploderer og fragmenterer, hvorved den tilgængelige overflade forøges.

Steam explosion kan derfor opfattes som en teknik med flere samvirkende effekter som effekter af høj temperatur (dvs. dannelse af organiske syrer, lignin smelter), en effekt af autohydrolyse (hemicellulose og delvist lignin nedbrydes via aktivitet af blandt andet eddikesyre) samt en mekanisk oprivning via damp eksplosion.

Dilute acid hydrolysis er en anden metode som benyttes med til forbehandling af ligno-cellulose. Metoden benytter ofte svovlsyre, som blandes med biomassen, hvorved hemicellulose nedbrydes til xylose og øvrige sukkerarter. Herved eksponeres cellulosefibrene og omsætteligheden forøges.

Der anvendes forskellige temperaturer og behandlingstider til syrehydrolyse, men det er blandt andet fundet, at syrehydrolyse ved 140°C i 40 minutter kan resultere i god omsættelighed af halm.

I det fleste tilfælde anvendes svovlsyre som en billig og effektiv syre til hydrolyse, men organiske alternativer er undersøgt, herunder fumarsyre, maleinsyre. Det er fundet, at maleinsyre er en fuldgod erstatning for svovlsyre ved 150 °C og 20–30 % (w/w). Se artiklen “Comparison of dilute mineral and organic acid pretreatment for enzymatic hydrolysis of wheat straw Kootstra, Beeftink, Scotta, Sandersa. Biochemical Engineering Journal Volume 46, Issue 2, 1 October 2009, Pages 126-131.”

Denne artikel fremhæves her fordi den udgør en del af det videnskabelige grundlag for nærværende projekt og teknologiudvikling.

KOMMENTARER TIL DEN KONVENTIONELLE FORBEHANDLING

Det er karakteristisk, at den særdeles omfattende litteratur om forbehandling af lignocellulose har fokus på de kemiske processer. I den praktiske verden er det imidlertid den samlede tekniske og biokemiske løsning, der skal opfylde en række krav til omkostningseffektivitet.



En af de mest omtalte og benyttede tekniske løsninger er Sunoptas StakeTech løsning, som benytter et kontinuert system til dampekspllosion. Snittet halm føres ind i et reaktionskammer med gennemgående snegl og en dyse, damp injiceres og dysen åbner og lukker in intervaller således, at tryk opbygges og udløses. Billedet herover viser blandt andet en dyse og en samlet installation, og det er klart, at der er tale om avanceret teknik.

Der kan fremhæves andre eksempler som Inbicon A/S termiske hydrolyse i store såkaldte hydrolysatorer. Det findes således tekniske løsninger som er afprøvet i fuld skala, og som markedsføres og tilbydes på kommercielle vilkår, hvilket er meget positivt.

Det er imidlertid karakteristisk for samtlige avancerede løsninger, at der forbruges vand og dermed også energi i store mængder for at gennemføre forbehandlingen. Og det er netop hagen ved teknikken, idet vand belaster et biogasanlægs hydrauliske kapacitet, og idet energiforbruget reducerer netto-energiproduktionen og omkostningseffektiviteten.

I det nævnte eksempel med et biogasanlæg, som afgasser 100.000 tons gylle og 10.000 tons halm, ville konventionel teknik således medføre, at der tilsattes ca. 50.000 tons vand foruden halmen. Dette ville kræve yderligere biogasreaktorer ligesom den ekstra vandmængde også skal lagres, transporteres og udbringes som gylle. Desuden er installationen dyr og energikævende, og sådan konventionel teknik vurderes ikke for at være aktuel for biogasanlæg.

Der er således en række udfordringer forbundet med at anvende halm i industriel skala til biogasformål.

1. For det første skal det være muligt at håndtere 10.000 tons halm årligt eller mere i en industriel og automatiseret proces. Dette betyder, at teknikken skal kunne modtage og lagre en vis mængde bigballer før disse oprives og renses for urenheder før videre behandling.
2. De enkelte halmballer kan variere mht. til fugtindhold og kvalitet og det er derfor en fordel, at den oprevne halm blandes og homogeniseres. Det er således også en fordel, at halmen snittes til nogle få cm strå-længde.
3. Nu er udfordringen så at tilføre halmen til biogasreaktor. Dette er imidlertid ikke umiddelbart muligt, idet halmen har en densitet under 100 kg per m³ og er vandskyende. Der kan helt enkelt ikke iblandes halm i større mængder i en biogasreaktor eller for den sags skyld i gylle før tilførsel til biogasreaktor.

4. Halmen bør desuden forbehandles således, at der kan opnås et højt metan udbytte af halmen. Halm har en pris på ca. 500 kr. per tons, og det er ikke omkostningseffektivt blot at opnå f.eks. 50 % af det teoretiske metan udbytte.

Vi har sat os for at løse disse problemstillinger og skal i det nedenstående redegøre for teknikken og for resultater af projektet.

DEN TEKNISKE LØSNING

En industriel anvendelse af halm til biogasformål kræver en teknisk løsning, der er i stand til mekanisk at håndtere det meget besværlige medie tørt halm samt at indføre det i biogasreaktor.

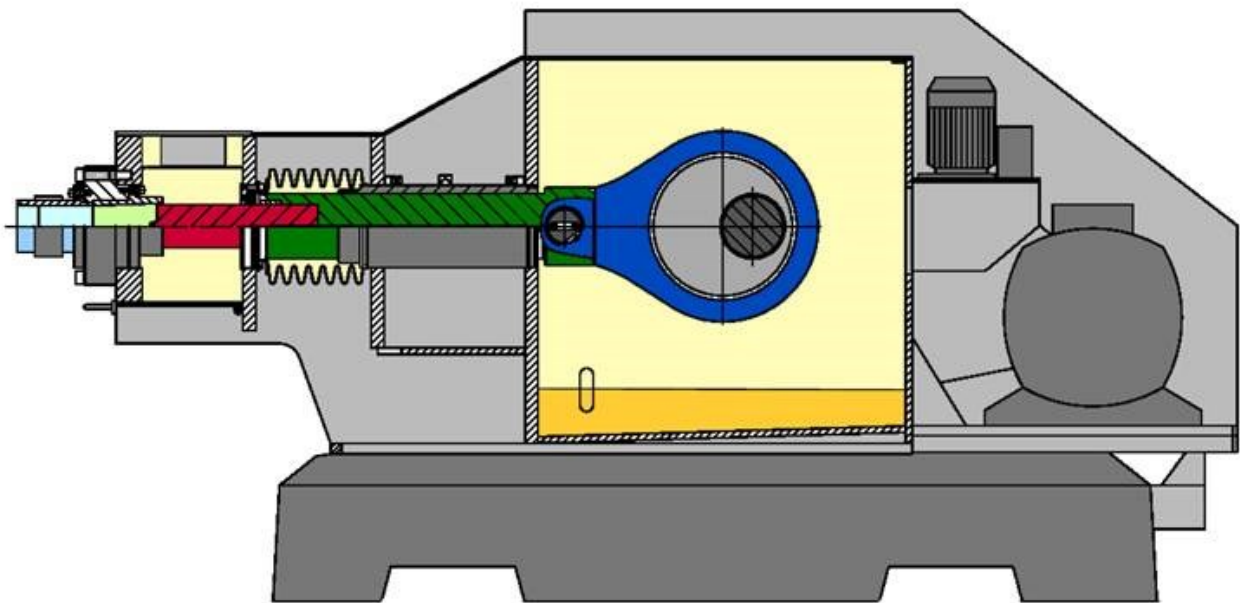
Indførelse af større mængder halm i biogasreaktor er ikke en simpel teknisk udfordring af alle de ovenfor nævnte grunde, men herudover er det tillige vigtigt at halmen forbehandles således, at der kan opnås fuldt teoretisk metan udbytte af halmen.

Vi har udviklet følgende tekniske løsning som vi benævner ”mekanisk induceret steam eksplosion og hydrolyse”.

Den mekaniske / fysiske håndtering af halmen sker via aflæsning af bigballer på en halmlinje, dvs. et transportbånd, der fungerer som et dagslager og en føringsvej til opriver og mikser. Efter mikser føres halmen med en luftstrøm over en stenfælde og til hammermølle. I hammermøllen findeles halmen til en strå længde af nogle få cm.



Den rengjorte og snittede halm, efter eventuel tilsætning af katalysatorer, tilføres nu en mekanisk presse, der komprimerer halmen til høj densitet under gentagne stempelslag ved hjælp af en modificeret C. F. Nielsen A/S brikettepresse (se illustrationen nedenfor).



Pressen fungerer ved, at et stempel, som er monteret på et stort svinghjul, med stor kraft fremføres gennem et kammer med snittet halm mod en konisk dyse, hvorved halmen komprimeres.

Ved hvert stempelslag fremføres en vis mængde halm til dysen og videre til en forlænger dyse. Herved påvirkes hvert lag halm af et stempelslag et antal gange før halmen endeligt forlader dyse og forlænger dyse og rør.

Det pågældende stempel slår med en kraft, der danner et tryk på mellem 1500-2000 bar. Det er denne mekaniske påvirkning, som udgør en vigtig del af forbehandlingen af halmen samtidigt med, at den komprimerer halmen til en densitet på ca. 1000 kg per m³ – altså en densitet svarende til vands densitet!

Processen fungerer ved, at stempelslaget overfører mekanisk og kinetisk energi i halmen, hvis temperatur derfor stiger proportionalt med den anvendte kraft. Halmen opvarmes således uden brug af dampinjektion eller anden kogeprocess, og det er herved muligt, at forbehandle halm uden tilsætning af vand. Det er endvidere karakteristisk, at halmen opvarmes under stemplets fremføring under højt tryk, idet det er her den kinetiske energi afgives til halmen. Når stemplet føres tilbage falder trykket momentant fra de nævnte 1500 – 2000 bar og til atmosfæretryk. Dvs. at den damp, som er dannet ud fra halmens naturlige vandindhold, vil eksplodere, og derved efterligne effekten af den klassiske dampekspllosion – blot uden tilsætning af damp.

KOMBINATION MED KATALYSATORER

Den tekniske indretning af prototypen til dette projekt omfatter installationer, der gør det muligt, at tilsætte katalysatorer i pulverform og i flydende form i en særlig mikser før halmen tilsættes pressen.

Dette blev i vid ustrækning anvendt til en række indledende eksperimenter med driftskørsler ved varierende kraftniveauer og tilsætningsstoffer for at få de første indtryk af teknikken.

I den forbindelse skal det nævnes, at der er tale om store kræfter, og at der kan ske driftsforstyrrelser i form af særligt kraftige dampekspllosioner. Dette sker især såfremt der er et for højt fugtindhold i halmen. Metoden er derfor også udviklet til tørt halm, dvs. med et fugtindhold mindre end 20 % i en industriel proces, og ikke til opblødt eller rådden halm, der blot kan tilsættes gylle i mindre forekommende mængder.

Nedenfor er der vist et eksempel på effekten af en dampekspllosion, hvor komprimeret halm helt enkelt er eksploderet ud af en forlængerdyse og gennem en værkstedsdør.



Prototypen som anvendtes til de nævnte testkørsler er afbilledet nedenfor. På det store billede ses beholder til pulver samt en cylinder med mikser og indsprøjtning af flydende katalysatorer.



Prototypeopstilling med presse, styretavle, silo til snittet halm mv.



Mikser og beholder til pulvere på anvendt prototype.

Foruden tilsætning via mikser gennemførtes en imprægnering af halmen manuelt før tilførsel til silo tilhørende prototype-opstillingen. Denne imprægnering skete med opløsning af relevant syre i vand og udsprøjtning af syreopløsningen på halmen under omblanding. Dette sikrede en homogen tilsætning af syre og dermed imprægnering af halmen før behandling i pressen.

I et hovedeksperiment anvendtes svovlsyre og eddikesyre, som tilsattes i mængder på 1 % i forhold til halmen. I øvrigt blev der i hovedsagen anvendt hvedehalm til de nævnte eksperimenter, idet hvedehalm forekommer i størst mængde.

Idet opholdstiden er kort i pressen blev der konstrueret særlige forlænger dyser med varmekappe, der således sikrede, at halmen opholdt sig ved høj temperatur i længere tid. Det er vist i den videnskabelige litteratur, at behandlingstiden har en effekt på en given forbehandling. Det skal her fremhæves, at en nærmere undersøgelse af syrehydrolyse viser, at længere behandlingstider kan erstatte høje behandlingstemperaturer (se tabellen nedenfor).

Minutter	Temperatur	pH	Sukker udbytte (%)
5	180	1,25	91,8
10	160	1,24	88,7
40	140	1,23	93,0
60-120	55-90 (140)	1-2	90-95

Citat: Lloyd & Wymann 2005 Combined sugar yields for dilute sulfuric acid pretreatment of corn stover followed by enzymatic hydrolysis of the remaining solids. Bioresource Technology 96, 1967-1977..

Tabellen viser, at korte behandlingstider ved høj temperatur giver et godt teoretisk sukkerudbytte, medens det samme er tilfældet for lavere temperaturer og længere behandlingstider. De røde tal er en hypotese vedr. effekten af hydrolyse, som blev lagt til grund for nærværende eksperimenter.

Med henblik på yderligere at kunne variere opholdstid og temperatur blev der konstrueret særlige cylindre, som den behandlede halm kunne opsamles i direkte efter pressen. Disse cylindre var konstrueret med gevind og skrue-låg således, at de kunne modstå ca. 3 bars overtryk, idet halmen blev inkuberet i ovn ved maksimalt 140°C i varierende tid.





Inkubationsrør, opsamling i rør og inkubation i ovn.

Det er med denne prototype og denne grundlæggende opstilling, at et antal forsøg og driftskørsler blev gennemført. Det blev fundet, at halm kan forarbejdes med godt resultat under stabile driftsbetingelser og med moderat energiforbrug.

ENERGIFORBRUG

Energiforbruget i processen kan direkte aflæses via styretavle, der angiver ampereforbruget. Motorinstallationens nominelle effekt kan variere, men er ofte fastsat til 55 kW, 100 Ampere. Den pågældende prototype effekt var netop på 55 kW og 100 ampere og maskinen opererer med en kraft på ca. 1,3 mio. N (Newton). Med et typisk ampereforbrug på 60-70 A kan der således med denne opsætning forbruges ca. 35 -70 kWh per tons ved en kapacitet på 0,5 - 1 tons i timen.

Trykket, der er et fladefænomen, kan således beregnes ved en simpel inddragelse af stemplets diameter, hvilket giver et tryk på ca. 217 mio. N/m² eller ca. 2170 bar. Det typiske tryk ved det angivne ampereforbrug er derfor ca. 1500 bar.

Effekten heraf kan vurderes på følgende måde:

- Vands varmekapacitet: 4,2 KJ/kg °C
- Halms varmekapacitet ved 15 % fugt: 1,2 -
- Tør halms varmekapacitet (grafit) 0,7 -
- Jerns varmekapacitet: 0,4 -
- Vands fordampningsvarme: 2257 KJ/kg
- 1 kWh = 3600 KJ

Energiforbruget ved forhøjelse af et tons halms temperatur fra 20°C til 101°C (med 81°C til over vands kogepunkt) er:

$$E = 1,2 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \times 1000 \text{ kg} \times 130^\circ\text{C} = 97200\text{KJ, hvilket svarer til } 27 \text{ kWh.}$$

Disse 27 kWh afsættes i overvejende grad i halmen, og med 35-70 kWh til rådighed per tons er der således et varmeoverskud til opvarmning og delvist fordampning af vand (kun en lille del af vandet vil fordampe pga. den begrænsede volumen og det høje tryk, men dog eksplodere under overgang

til atmosfæretryk). Pressens metaldele, der er i berøring med halm, vil pga. friktion tillige opvarmes. Men idet metals varmekapacitet er ca. 10 % af vands og ca. 30 % af halmens varmekapacitet da er dette spild begrænset. Der kan dog opserveres overfladefænomener som et særligt lag af smeltet lignin på brikettens overflade pga. en særlig høj temperatur her (ca. 150°C).

Den anvendte energi på ca. 50 kWh i gennemsnit per tons halm vil desuden ikke være spildt, men vil medvirke til at opretholde temperaturen i biogasreaktor når den varme halm tilføres reaktoren. Den pågældende investering i energi til forbehandling og kompression vil derfor i et vist omfang blive kompenseret med udnyttelse af varmedelen. Den vigtigste kompensation er dog, at det nu er muligt i det hele taget at udnytte halm til biogasformål på en omkostningseffektiv måde.

DATA OG RESULTATER

Med udgangspunkt i ovennævnte opstilling blev der blandt andet gennemført et samlet eksperiment i et positivt samarbejde med Foulum og Ph. D studerende Chitra Sangaraju Raju.

Eksperimentet blev baseret på de indledende iagttagelser omkring drift og effekt af syretilsætning mv. og der udvalgte følgende behandlinger (se i øvrigt bilag 4):

- Wheat straw: mechanical press only
- Wheat straw: mechanical pres with extended incubation at 140°C for 1 hour

- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1,5 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour

- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1,5 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour

- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour, plus water
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour, plus water

- Controls: No treatment

- Meadow grass: mechanical press only
- Meadow grass: mechanical press, incubation at 140°C

- Controls: No treatment

Ud fra dette eksperiment var det tydeligt, at der opnåedes en signifikant positiv effekt af behandlingerne relativt til en ubehandlet kontrol. Den dominerende effekt blev opnået med tilsætning af eddikesyre. I enkelte tilfælde viste det sig, at svovlsyre inhiberede metandannelsen på trods af, at det samlede resultat var positivt.

Vi fandt tillige en signifikant effekt af inkubationstemperaturen, og måske overraskende viste det sig, at de udvidede 90°C inkubationer medførte bedre effekter end højere temperaturer (140°C). Dette var konsistent for begge syrer.

Vi fandt ingen effekt af tilsætning af ekstra vand med øvrige faktorer konstante. En fordobling af vandindholdet fra 15 % til 30 % af tørstofindholdet gav ingen bedre effekt! Dette er overordentligt interessant, idet vand som bekendt er en kritisk komponent – men dette resultat viser, at der kan gennemføres en hydrolyse ved høje tørstofprocenter (80-90 %).

Det maksimale udbytte blev på 360 l metan per kg vs (volatile solids). Dette svarer til ca. 290 l metan per kg halm (85 % tørstof, 95 % vs) eller 450 l biogas per kg halm (ved 65 % metan). Dette svarer til det praktiske maksimum, som normalt anses at være ca. 300 l metan per kg vs i halm.

Det rent teoretiske biogaspotentiale for kulhydrater, proteiner og fedtstoffer som beregnet og verificeret ved hjælp af Bushwells formel er i gennemsnit:

Kulhydrater (stivelse, cellulose, sukker):	0,415 Nm ³ CH ₄ / kg VS
Proteiner:	0,500 Nm ³ CH ₄ / kg VS
Fedtstoffer:	1,000 Nm ³ CH ₄ / kg VS

Dette er grundlæggende værdier for energiindhold som enhver biogaskalkulation må forholde sig til, særligt i forhold til hvor stor andel af det teoretiske potentiale, der kan opnås under et givent biogassystem. Og i dette tilfælde er anses det praktisk og realistisk at der i gennemsnit kan opnås 300 l metan per kg vs. Dette svarer til, at der ikke påregnes nogen væsentlig omsætning af halmens lignin-indhold, der udgør 15-25 % af tørstoffet. I praksis vil der nedbrydes dele af ligninindholdet ligesom særligt krystallinsk cellulose ikke nedbrydes, men det er givet vis rigtigt i hovedtræk, at det er aromatiske stofgrupper som lignin, der er svært omsættelige. De nævnte 300 l metan svarer til et biogasudbytte på 400 m³ per tons halm (ved 15 % vand, 5 % aske, og 60 % metan).

Der er i indeværende projekt drøftet et antal muligheder for tillige at omsætte i princippet lignin-delen af halmen tillige med andre svært omsættelige komponenter fra gylle, strøelse og andre biomasser som tilføres biogasanlægget. Konklusionen er, at det er der gode muligheder for, og en af de forholdsvis enkle metoder er, at recirkulere ekstracellulære enzymer og bakterier.

Dette kan ske på forskellig vis, men i projektgruppen er der gode erfaringer med vibrerende sigter til frasigtning af uomsat materiale og mikrobielle granula, dvs. små flokke af mikroorganismer, for at tilbageføre dette til bioreaktor. Det er en kendt sag, at der efter afgang i en biogasreaktor er et uomsat potentiale i den afgassede gylle på 10-20 % af den allerede udvundne biogas. Dette skyldes dels, at stofferne er vanskelige at omsætte og dels, at den hydrauliske opholdstid normalt er mellem 20-40 dage. En længere opholdstid vil give et større gasudbytte, men ikke nødvendigvis en bedre driftsøkonomi.

Anvendelse af vibrerende sigter vil afkoble den hydrauliske opholdstid fra opholdstiden af de uomsatte partikler. De partikler, som måtte være uomsatte, vil helt enkelt opfanges i sigten og blive tilbageført til biogasreaktor, medens væsken vil tilføres et lager for afgasset gylle. Idet mikroorganismer og enzymer fæster sig på overflader som organiske fragmenter, vil en stor andel enzymer og aktive bakterier desuden blive tilbageført til reaktor for her at forøge koncentrationen af - the biocatalysts – de biologiske og kemiske katalysatorer.

Dette medfører ikke alene en forbedret omsætning af halm men tillige en forbedret omsætning af gyllens svært omsættelige dele ligesom den mikrobielle biogasproces i det hele taget vil stabiliseres og forbedres. Det er f.eks. kendt at ammoniak hæmmer de methanogene bakterier, men en forøget koncentration af disse bakterier vil derfor afhjælpe hæmningen af metandannelsen og derfor reducere risikoen for syredannelse og nedbrud af biogasprocessen.

Det er derfor sandsynligt, at med mindre ændringer af et biogasanlægs indretning vil der kunne opnås større udbytter af såvel halm som gylle og eventuelle energiafgrøder.

MÅLINGERNE

De anførte målinger blev gennemført i laboratoriet på Forskningscenter Foulum som biologiske inkubationer i alt 90 dage, jf. Henrik B- Møllers videnskabelige rutiner for at gennemføre sådanne potentielle tests.

I korthed går testen ud på at inkubere halmprøver i podevæske (såkaldt inokulum) fra Forskningscenter Foulums biogasanlæg. Gylle udtages fra biogasanlægget, sigtes og henstår 1-2 uger således, at der ikke er et væsentligt residualt methanpotentiale tilbage i væsken, men blot en levende bakteriekultur – et inokulum. Der afmåles f.eks. 200 ml heraf samt 5 g halm i et antal flasker som henstår – inkuberes – i varmeskab i 90 dage. I passende intervaller måles den akkumulerede mængde metan, flaskerne evakueres – udluftes - og inkubationen genoptages. Dette er en gængs måde hvor på methanopotentialer måles for en række substrater.



Forskningscenter Foulums laboratorium, hvor der arbejdes med måling af methanpotentiale.

Udover de konkrete resultater vedrørende methan potentialer giver arbejdet med de forskellige halmprøver desuden et direkte indtryk af halmens egenskaber som funktion af de behandlinger, den har været udsat for.

F.eks. er det ganske slående, at det næsten ikke er muligt at tilsætte 5 g snittet, men i øvrigt uforarbejdet halm, til 200 ml væske. Det fylder simpelthen næsten hele flaskens volumen og er vanskeligt at opslæmme i væsken. Det er derimod ikke tilfældet med halm, der er behandlet med den nye mekaniske metode. Denne halm har fortsat en langt højere densitet og dermed langt mindre volumen på trods af, at halmen er blevet oprevet i forbindelse med afvejning til potentialetests. Dette forhold er illustreret ved nedenstående billeder.



Billede 1 er 5 g uforarbejdet halm og billede 2 er 5 g uforarbejdet og forarbejdet halm.

DEN HYGROSKOPISKE EGENSKAB

Halm ændrer egenskaber som funktion af behandling i en mekanisk presse under de angivne betingelser. En af de afgørende nye egenskaber er, at halmen bliver hygroskopisk dvs. at den normalt meget vandskyende halm ændrer karakter og bliver vandsugende. Dette er en meget vigtig egenskab, idet det nu er muligt i det hele taget at tilsætte større mængder halm til en biogasreaktor.

Som nævnt er den første forudsætning for at udnytte halm til biogasformål, at udvikle teknik til de facto at kunne indføre halm i større mængder i en biogasreaktor – og det er ikke så enkelt som det lyder. Dette er nu muligt i kraft af den mekaniske behandling hvor der opnås to grundlæggende fordele: halmen komprimeres til en densitet tæt på vands og halmen bliver desuden hygroskopisk.

Tørt snittet halm kan ikke blandes ind i en biogasreaktor. Tørt snittet halm anvendes f.eks. som flydelag på gyllebeholdere og er accepteret af landets myndigheder som en godkendt overdækningsform. Men, alene i kraft af kompressionen til høj densitet vil halmen synke ind i væsken og her blive opfugtet og opslæmmet. Kompression alene er således en vigtig metode til en de facto indførelse af halm i biogasreaktor.

Imidlertid bliver halmen desuden hygroskopisk som en funktion af den mekaniske steam explosion. Dette er illustreret ved et antal simple opstillinger i laboratoriet, hvor en glascylinder fyldt med vand fik tilført en portion behandlet halm. Et antal observationer kan udledes heraf.

For det første sank briketten ned i vandet og henlå under overfladen, medens den i løbet af få minutter blev opslæmmet. Efter opslæmning lå halmen nogle minutter under vandoverfladen, men efter yderligere et antal minutter sank halmen til bunds. Den fik altså en densitet, der er lidt højere end vands, men kun ganske lidt, idet den er let at omrøre og opslæmme i væskesøjlen. Dette er en grundlæggende og vigtig effekt, idet den absolut første forudsætning for at udnytte halm til biogasformål er at få halmen ind i en biogasreaktor og opslæmmet i reaktorvoluminet. Når den vel er inde er der flere metoder til forbehandling og indretning af biogasanlægget, som vil sikre et højt biogasudbytte af halmen.



Billederne viser, hvorledes forarbejdet halm suger vand og synker ned i vandsøjlen.

FRIGIVELSE AF SUKKER, ETHANOL PERSPEKTIVET

I regi af projektet gennemførtes et antal tidlige tests af metoden for så vidt angår metodens anvendelighed som forbehandling til en ethanol proces.

Testen gennemførtes som følger:

6 g forbehandlet eller formalet frisk halm afvejes i 250 ml blue-cap flasker i følgende to serier:

- 4 flasker med forbehandlet halm,
- 4 flasker med frisk halm

Flaskerne tilsættes 100 ml H₂SO₄, pH 1,2. Prøverne autoklaveres og behandles herefter så sterilt som muligt. Efter afkøling justeres pH til 5,0 med 1 M NaOH i 2 af flaskerne fra hver serie, og voluminet justeres til 200 ml med sterilt vand. De to ikke-neutraliserede flasker justeres også til 200 ml med sterilt vand.

Herefter tilsættes til de to neutraliserede flasker fra hver gruppe i henhold til Novozymes forskrift:

- 400 µl NS50013 cellulase complex
- 40 µl NS50010 b-glucosidase
- 100 µl NS22002 xylanase

Flaskerne lukkes og alle flasker inkuberes på ryst weekenden over.

Lige før HPLC (High Performance Liquid Chromatography) analyserne foretages fremstilles en flaske indeholdende 200 ml vand + enzymer som beskrevet ovenfor (denne anvendes som kontrol eller baggrund). Prøverne filtreres herefter, de neutraliserede flasker forsures og alle flasker analyseres for sukre på HPLC. De måle sukkerkoncentrationer blev som følger:

g/l		Cellobiose	Glucose	Xylose	Arabinose	Lactate	Glycerol	Acetate	Ethanol
STD0	Standard	0,49	0,52	0,5	0,47	0,23	0,65	0,6	0,54
STD1	Standard	0,96	1	0,97	0,95	0,37	1,05	1	0,97
STD2	Standard	1,95	1,98	2,03	1,97	0,89	2,01	1,98	2
STD3	Standard	4,9	5,07	5,09	4,98	2,3	5,63	5,09	4,97
STD4	Standard	9,59	9,82	9,93	9,73	4,45	9,72	10,07	10,59
STD5	Standard	19,45	20	19,8	19,66	7,47	19,76	20,33	19,24
Halm 1	Unknown	0,02	0,12	0,02	0,05	n.a.	n.a.	0,04	n.a.
Halm 2	Unknown	0,01	0,11	0,02	0,04	n.a.	n.a.	0,04	n.a.
Halm 1 + enz	Unknown	n.a.	1,35	0,77	0,21	n.a.	0,15	0,06	n.a.
Halm 2 + enz	Unknown	n.a.	1,47	0,86	0,23	n.a.	0,16	0,09	n.a.
F Halm 1	Unknown	n.a.	0,04	0,02	0,07	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
F Halm 2	Unknown	0,02	0,13	0,7	0,07	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
F Halm 1 + enz	Unknown	n.a.	3,29	0,76	0,34	n.a.	0,17	n.a.	n.a.
F Halm 2 + enz	Unknown	n.a.	1,61	0,97	0,34	n.a.	0,15	n.a.	2,31
Bagrund 1	Unknown	0,09	0,13	n.a.	0,28	n.a.	0,14	n.a.	n.a.
Bagrund 2	Unknown	0,09	0,12	n.a.	0,32	n.a.	0,15	n.a.	n.a.

Disse test blev gennemført af Ålborg Universitet, Ballerup.

Af dette data sæt og øvrige sæt kunne det konkluderes, at der er en effekt af behandlingen på forekomsten af opløste sukke efter enzymatisk forflydning jf. Novozymes opskrift herpå, men at effekten var beskedent. En del af forklaringen herpå er, at dette var en tidlig test før metoden var optimeret, men også at forflydning af sukker fra halm til ethanol fremstilling er en anden proces end til biogas. I en biogasreaktor er der høj mikrobiel aktivitet og ingen principielle begrænsninger af forskellige enzymkomplekser ligesom inkubationstiden er meget længere. Der gennemførtes ikke yderligere forsøg vedr. ethanol i regi af dette projekt, men det vil søges genoptaget med nye opsætninger af forbehandling og forflydning.

DEMONSTRATION AF METODEN

Med henblik på at demonstrere metoden på Forskningscenter Foulums biogasanlæg konstrueredes en presse samt tilhørende container og silo unit samt en samlet opsætning af systemet.

Containerløsningen er illustreret på nedenstående billeder:

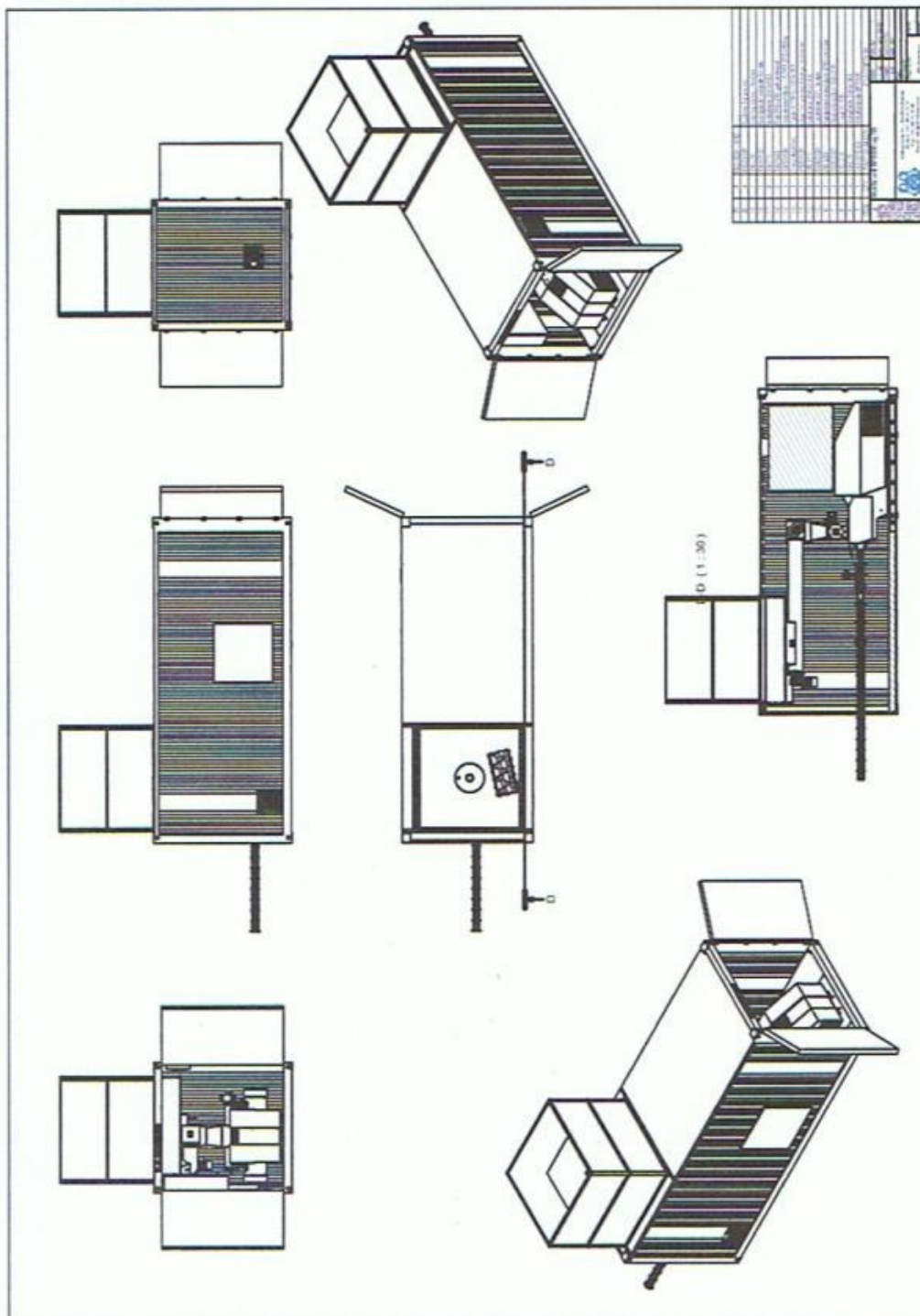


Den samlede løsning til opstilling på Forskningscenter Foulums biogasanlæg indeholdt en silo til snittet halm monteret på container samt indføder i reaktor, jf. konstruktionstegningerne nedenfor.

Løsningen består således af ITEM nr. (billede 1):

1	1	360-BP5500 Briketpresse BP5500
5	4	300778 Sideplade 2000x380
6	1	032 219 Tragt H=300
7	1	30000307 Flex forbindelse 335x335
9	1	080 009 Kompressions slidske Ø90 med lås
10	1	80000124 Container 20", svejst
12	1	080 011 Kølebane Ø90x3000
13	1	80000126 Låge for serviceåbning i container
14	1	Kontrol kabinet Cabinet 1600x1000x300
15	1	30000166 Industri ventilator HC355 230V/60Hz
16	2	3007820 Rist 250x250 galvaniseret
17	8	300777 Sideplade 2000x880
18	1	80000122 Bundplade dobbelt for silo
19	1	360-DS Dosing screw - Renew
20	4	80000155 Tryksko for presse
21	4	ISO 4034 - M30

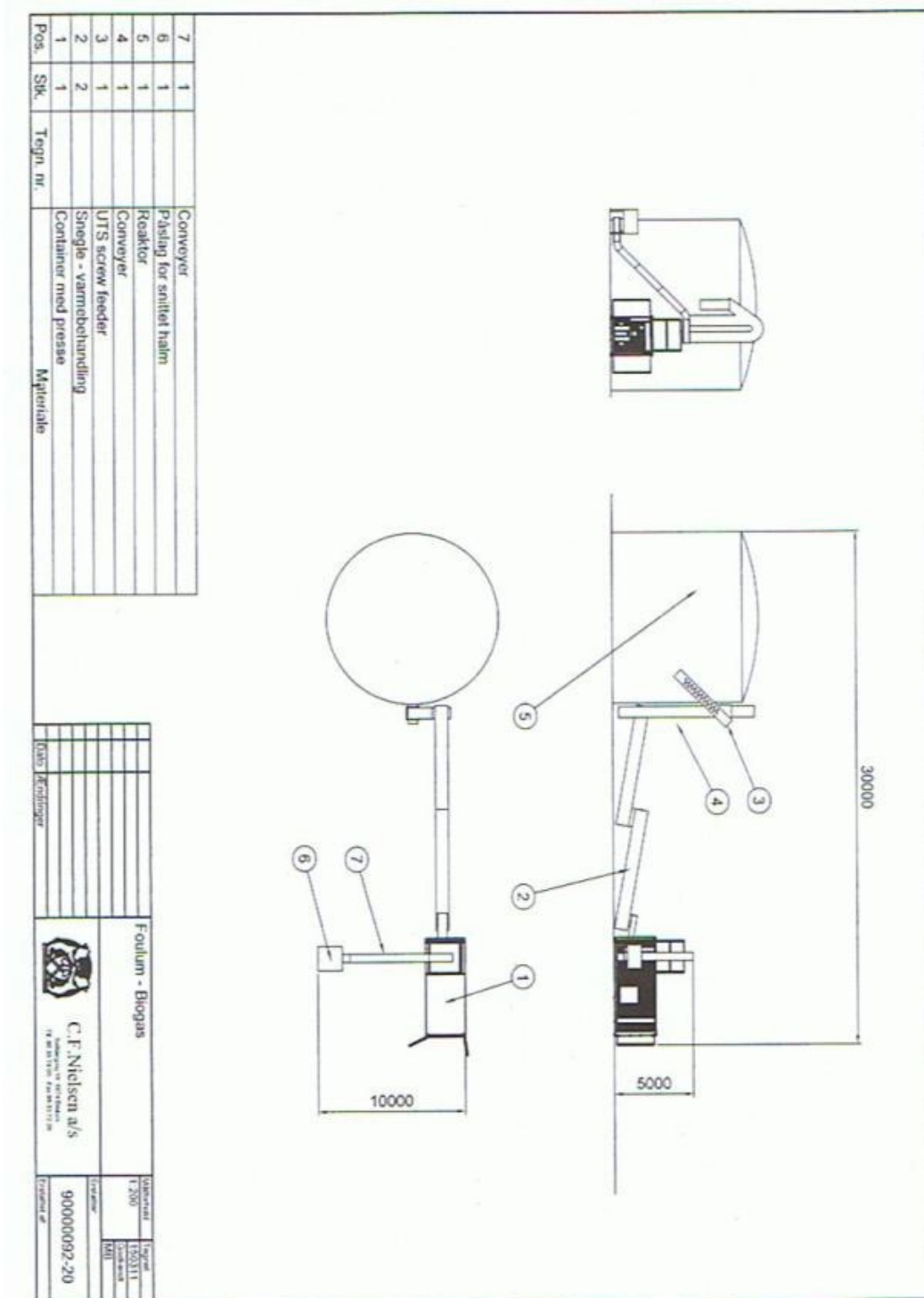
Billede 1 (container unit med silo, presse og snegl til indføding i reaktor)



samt ITEM nr. (billede 2)

1	1	Container med presse
2	2	Snegle - varmebehandling
3	1	UTS screw feeder
4	1	Conveyer
5	1	Reaktor (forefindes)
6	1	Påslag (silo) for snittet halm
7	1	Conveyer

Billed 2. Den samlede opstilling på Foulum Biogasanlæg med UTS indføder i rektor



Id	Navn	Stk.

Foulum - Biogas

C.F. Nielsen a/s
INDVINDINGS- OG KØLETEKNIKK
Vejlevej 10 7500 Holstebro

90000092-20

Projektledelsen valgte dog ikke at montere den ovennævnte løsning på Forskningscenter Foulum, idet det blev vurderet, at demonstrationen kunne gennemføres mere effektivt ved at forbehandle halm i værkstedet hos C. F. Nielsen A/S i Bælum, og da transportere forarbejdet halm til biogasanlægget i Foulum.

Med henblik på at indføde halmen på biogasanlægget benyttedes en særlig mikser, hvortil den forarbejdede halm tilførtes. Denne var forbundet med biogasreaktor via gylleslanger og ventiler og fungerede på en sådan måde, at gylle blev pumpet til mikser, hvortil halmen tilsættes og opblandes, før blandingen blev pumpet ind i reaktor. Dette tillod en direkte observation af, hvorledes den forarbejdede halm opførte sig i en typisk reaktor væske, og dette system udgjorde således en mere værdifuld demonstration end direkte tilførsel i reaktor.

Systemet er afbilledet nedenfor:



Demonstration af tilsætning af forarbejdet halm (i form af ubrudt brikette) til aktiv reaktor væske i mikser på Forskningscenter Foulums biogasanlæg. Direkte efter tilsætning og efter omrøring.

Opslæmningen af forarbejdet halm i reaktorvæske forløb dog ikke som opslæmning i vand i laboratoriet. Det tog længere tid at bryde briketten og opslæmme den i reaktorvæsken. Dette skyldes formentligt, at der ikke var så meget frit vand i den relativt tyktflydende væske og at der dannedes en form for filter af fine partikler omkring briketten. Dette forhold er demonstreret på billedet neden-

for, hvoraf det tydeligt fremgår, at gyllevæsken kun er trængt ca. 1 cm ind i briketten efter nogen tids omrøring. Det stod dog også klart, at det blot er et spørgsmål om relativt kort tid fra 30-45 minutter før briketten var opslæmmet i dette system. I lyset af en opholdstid på f.eks. 40 dage i et biogasanlæg er det uden betydning. Demonstrationen fik dog den effekt, at projektledelsen indtil videre besluttede, at indføre brudte briketter i reaktor, hvilket kan ske i et UTS indfødningsystem, som derfor også er valgt til dette formål.



Billedet viser indtrængende gyllevæske i ubrudt halmbrikette.

ØKONOMI OG ENERGIBALANCE

I regi af indeværende projekt blev der designet et fuldskala anlæg inklusiv en komplet halmlinje til en kapacitet på 10.000 tons halm årligt. Et sådant system omfatter:

1. Halmmodtager og transportbånd (til lagring og transport af bigballer/rundballer)
2. Halmmixer (til blanding af halm fra forskellige baller til udligning af fugtindhold)
3. Stenfælde (til opsamling af fremmedlegemer som sten, grus, beslag mv.)
4. Hammermølle (til finddeling af halmen til ca. 2 cm strå længde)
5. Filter og rørsystem (til fremførelse af snittet halm før presse)

6. Mekanisk presse efter nye specifikationer jf. dette projekt, inklusive kontrolpanel, touch screen panel, olie køler, dysekøler, olie og PLC varmeunit, mixer til tilsætning af syre, kapacitetsregulator, automatisk start stop udstyr, doseringsanlæg (silo) til presse, niveauføler til silo mv.
7. Transportsnegle med varmekapper (til hydrolyse delen af processen)
8. Redlere til transport af materiale
9. Buffersystem (lille biomasse lager)
10. Indfødningsystem til biogasreaktorer (et system til direkte injektion af forarbejdet halm i biogasreaktor).
11. Listen er ikke udtømmende.

Denne halm linje er et komplet udstyr som, så vidt det kan konstrueres på nuværende stadium, er et udtryk for kommercielle anlæg til forbehandling af 10.000 tons halm årligt og indfødnings heraf i biogasreaktor. Desuden indeholder anlægget nødvendige særlige faciliteter til dosering af syre og pulvere samt varmebehandling mv. som gør at anlægget kan håndtere mulige grænsetilfælde for behandling af biomasse for så vidt angår investeret energi via pressen, modifikationer af pressen (dyser), varmebehandling og tilsætning af katalysatorer. De beregnede priser er:

Priser:	Antal	DKK pr. stk	DKK
Briketpresse BP 5500 HD	1	1.120.145	1.120.145
Touch Screen Kontrolpanel	1	37.250	37.250
Oliekøleunit	1	20.584	20.584
Dysekøler-system	1	20.584	20.584
Olie- og PLC varmeunit	1	16.077	16.077
Mixer for vandtilsætning 300 mm, rustfri	1	230.950	230.950
Vandtilsætning til MDF og lignende	1	23.095	23.095
Støtteben til Mixer 300	1	15.645	15.645
Automatisk max. kapacitetsregulering	1	23.840	23.840
Automatisk start-udstyr (Auto start-stop)	1	18.588	18.588
Forstørret kammer til kompressionssnegle	1	17.880	17.880
Silo 2x2 m - 12 m ³	1	153.835	153.835
Niveauføler	3	5.095	15.285
Cables Set for briq. plant industry	1	21.233	21.233
BT 170 halmtransportbånd, 10 m oplæggebord med gangbro	1	165.745	165.745
Stige og gelænder til oplæggebord	1	33.868	33.868
MX 18 mixer med stenfælde	1	556.834	556.834
VAZ 1300 M 55 KW hammer mølle	1	844.707	844.707
To vejs doseringsnegl	1	6.005	6.005
Lodret conveyor til doseringssilo	1	166.897	166.897
Conveyor med damp udslip	1	29.800	29.800
Snegleconveyore med varmetæpper og isolering	2	277.778	555.556
Redler efter snegleconveyor	1	61.638	61.638
Redler til buffer system	1	201.657	201.657
40" buffer system – stangudmader	1	521.500	521.500
Exit conveyor fra buffersystem	1	74.500	74.500
Lodret conveyor fra buffersystem til reaktor	1	214.286	214.286
Redler til reaktor	1	203.936	203.936
Fødeskruer til reaktor	1	111.750	111.750
Control panel – halmudstyr	1	134.813	134.813
Samlet control panel	1	52.150	52.150
Ethernet of online control	1	14.176	14.176
Kabler til halmudstyr	1	21.233	21.233

Andre elektriske komponenter	1	37.250	37.250
Total			<u>5.743.292</u>
Fragt – estimeret	1	26.075	26.075
Elektrisk installation	1	111.750	111.750
Installation – halmudstyr	1	55.875	55.875
Installation – briketteringsudstyr	1	74.500	74.500
Total			<u>6.011.492</u>

Erfaring fra projektet og C. F. Nielsen A/S øvrige erfaring med drift af mekaniske presser siger, at de samlede driftsomkostninger er meget tæt på 50 kr. per tons halm ved en kapacitet på 1 tons i timen. Kapitalomkostningen med 4 % i rente og 6,25 % i afskrivning giver 60 kr. per tons.

De direkte energiomkostninger er til den mekaniske presse, til hammermølle og mindre motorer til drift af sneglefremfører. Det maksimale samlede energiforbrug per tons er ca. 75 kWh. Dette svare til ca. 40 kr. per tons.

De samlede anlægs, drifts og energiomkostninger er derfor ca. 150 kr. per tons. Heri er varmeeffekten ikke medregnet, som vil reducere energiomkostningen.

Halm kan købes for 500 kr. per tons og som vi har set giver det en biogasproduktion på mindst 400 m³.

Såfremt der anvendes eddikesyre i en mængde på 1 %, koster dette netto ca. 20-30 kr. per tons. Det bemærkes, at eddikesyre er et centralt biogassubstrat og derfor omsættes til biogas i biogasanlægget.

Ved en biogaspris på 2, 3, og 4 kr. per m³ giver udnyttelsen af halm anledning til indtægter på 800, 1200 og 1600 kr. per tons. De 3 kr. svarer til en afregningspris for el på ca. 1 kr.

Det ses heraf, at lav afregningspris for biogas medfører en indtægt på ca. 150 kr. per tons halm eller 1,5 mio. for et helt år. Ved en afregningspris på 3 kr. bliver indtægten 550 kr. per tons eller ca. 5,5 mio. kr. på årsbasis.

Energiindholdet i biogassen fra et tons halm er ca. 3000 kWh og idet forbruget af el er ca. 75 kWh da fremgår det med al ønskelig tydelighed, at energibalancen meget positiv. Det kan hertil siges, at halmen i sig selv uden forbehandling ville omsættes i et vist omfang, og måske give 200 l metan per kg vs. Problemet er blot, at tørt halm ikke kan tilsættes en biogasreaktor i industriel målestok uden forbehandling, og derfor er denne sammenligning ikke aktuel.

Disse regnestykker knytter sig til mindre anlæg og ikke anlæg, der i sin konstruktion er indrettet til større mængder halm og i øvrigt er af en industriel størrelse. De økonomiske forhold bliver kun bedre af, at tænke halm ind i nye store biogasanlæg, der i hovedsagen udnytter husdyrgødning og halm med et vist islæt af energiafgrøder.

Et sådant anlæg har BioFuelTechnology ApS og BioEnergi Tønder ApS arbejdet med gennem en årrække, og der foreligger nu et koncept og de første beregninger på anlægget. Dette anlæg udnytter den nyeste energipolitiske rammevilkår (som indeholdt i Energiforhandlinger 2011/12) og skal der-

for opgradere biogassen til naturgaskvalitet og i øvrigt benytte CNG gas til egen transport af biomasse.

Dette projekt er omtalt i perspektiveringsdelen af indeværende rapport, men det skal her fremhæves, at i større anlæg, og her er der tale om anlæg der producerer 75 mio. m³ biogas eller mere, og hvor gassen udnyttes som naturgas, da bliver de samlede økonomiske regnestykke bedre. Dette skyldes anlæggenes industrielle størrelse og rationelle drift, en bedre samlet afregning af gassen, en konkurrencedygtig indkøb af biomasser samt en optimal indretning af biogasanlægget for så vidt angår en særlig biomasse tilførsel udelukkende bestående af husdyrgødning, halm og energiafgrøder.

VISIONSPLAN FOR UDBYGNING AF DANSK BIOGASPRODUKTION

De seneste års dominerende udvikling indenfor biogaskoncepter her i landet samt i udlandet går mod stadig større anlæg med stadig flere tekniske faciliteter. Årsagen er, at den generelle økonomi i biogasanlæg er begrænset, og at det derfor er vigtigt at udnytte størrelsesøkonomien optimalt samt at rationalisere drift og vedligehold.

Nærværende model vil pege på de anlægskoncepter, som er udsprunget af de senere års udviklingsindsats og foreslå en industriel satsning på landsplan.

BIOMASSE SUBSTRATER OG POTENTIELLE MÆNGDER

Den første forudsætning for en udbygning af biogassektoren er adgangen til biomasse. De potentielle og dominerende biomasser er:

• Husdyrgødning	35 mio. tons	30 PJ
• Halm	6 mio. tons	100 PJ
• Energiafgrøder (5 % areal)	6 mio. tons	35 PJ
• Naturarealer	1 mio. tons	5 PJ
• Kommunalt/industrielt affald	< 5 mio. tons	< 5 PJ
• I alt		170 PJ

Det fremgår heraf, at halm er den absolut største potentielle kilde med 6 mio. tons og 100PJ. Det bemærkes endvidere, at hele den årlige halmproduktion er anført, hvoraf hovedparten anvendes til andre formål, men i et konkret biogasscenarium er det ikke urealistisk på sigt, at stort set hele halmmængden udnyttes til biogasformål. F.eks. er halmmarkedet præget af et tilskud til anvendelse af halm til kraftvarme på ca. 700 kr. per tons. Faldt dette tilskud væk ville stort set alle kraftværker gå over til træflis og piller i stedet for halm, hvilket ville efterlade halm til biogas og andre formål. Denne udvikling er allerede i gang, og landmændene har vanskeligt ved at afsætte halm til kraftværker.

Energiafgrøder er typisk majs, men under danske forhold vil græs og roer også være aktuelle. Især i koordination med Vandplaner, der skal beskytte grund- og overfladevand mod næringsstofudledning. Miljøfølsomme områder kan i højere grad udlægges med græs som ganske væsentligt reducerer udvaskning af næringsstoffer.

Slæt af græs på lavbundsjorder, enge og overdrev kan ske på ca. 300.000 ha og producere den anførte mængde biomasse. Et vigtigt argument for slæt af enggræs mv. er pleje af naturarealer og fjernelse af næringsstoffer fra disse arealer, der i stedet genanvendes via biogasanlæg.

Anvendelse af disse biomasser er realistisk i et udbygget biogasscenarium. Det er velkendt, at der findes andre anvendelsesområder for halm, men halm til biogas har den fordel, at halmen produceres og forefindes i det åbne jordbrugslandskab på samme vis som husdyrgødningen. Kombinationen af disse substrater kan derfor medvirke til at fremme økonomien i biogasanlæg og dermed fremme biogasudbygningen i det hele taget. Halmen konkurrerer ikke med jordbrugsarealer til fødevarer eller foderproduktion, og kombinationen af halm og husdyrgødning er derfor fremtidssikret mod f.eks. høje fødevarerpriser og heraf medfølgende høje priser på korn mv.

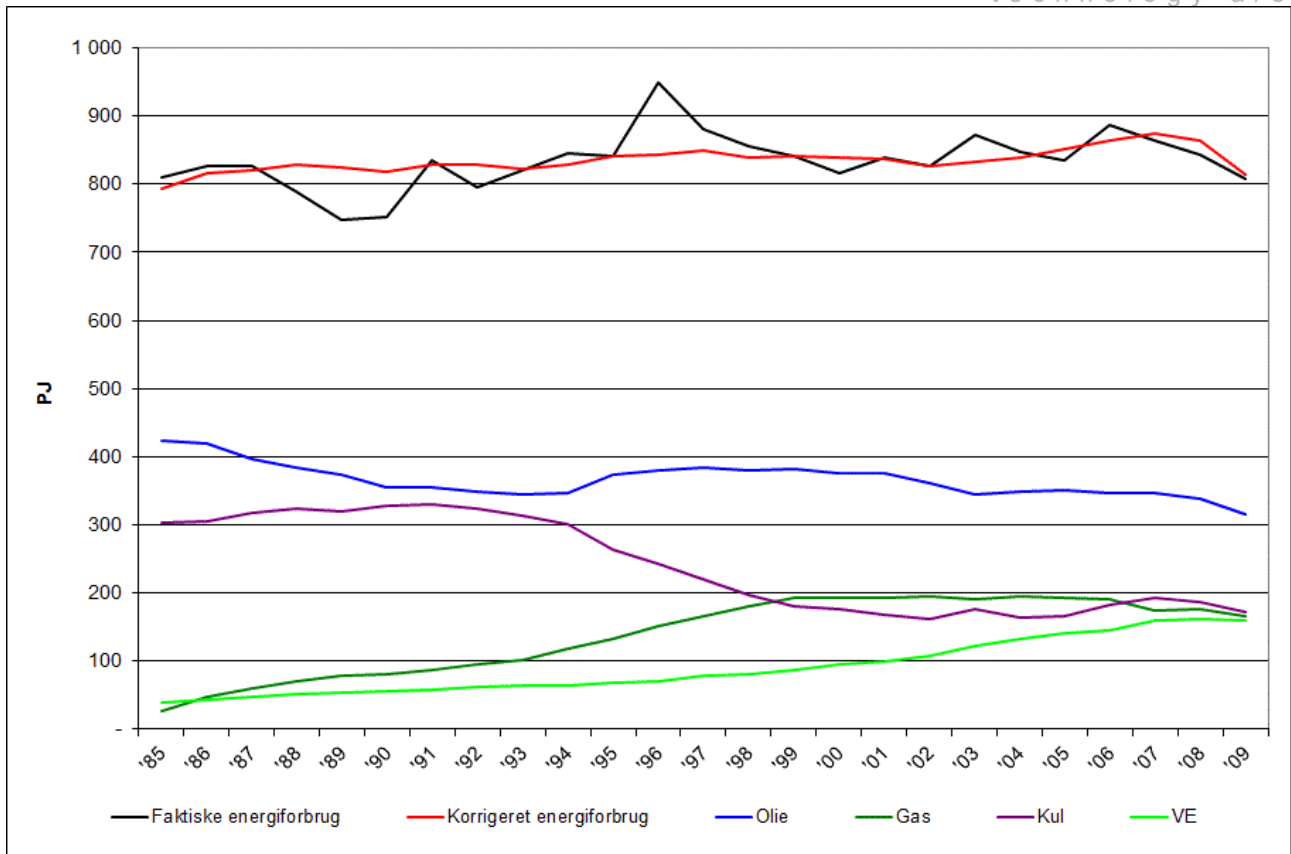
Der kan supplerende udnyttes godt 1 mio. tons halm med det nuværende anvendelsesmønster for halm, og derfor er der umiddelbart tilstrækkelige halm ressourcer til at realisere et antal biogasprojekter med et betydeligt islæt af halm.



Elementer af halmanlæg før en biogasproces

NATURGASFORBRUGET I DANMARK

Naturgasforbruget i Danmark udgør årligt ca. 180 PJ (www.naturgasfakta.dk). Det er derfor en mulighed, at en udbygget biogasproduktion stort set kan erstatte det nuværende naturgasforbrug.



Energiforbruget i Danmark fordelt på olie, gas og kul (ca. 180 PJ i naturgas ca. 800 PJ total)

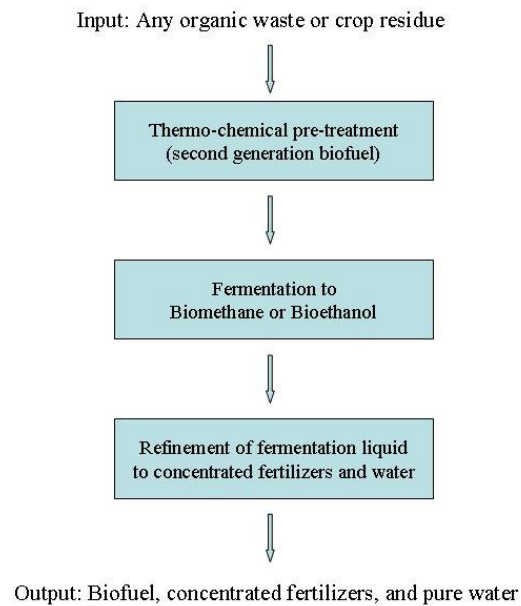
Et scenarium er, at nye biogaskoncepter især omfatter udnyttelse af husdyrgødning og halm til biogasformål, men tillige at en vis andel af landbrugsarealet (f.eks. 5 %) anvendes til energiafgrøder. Det er dog vigtigt, at det er husdyrgødning og halm, som er de dominerende substrater, idet dette scenarium er fremtidssikret.

NYE TEKNIKKER

Nye biogasteknikker omfatter især anlæg til forbehandling og indfødning af biomasse som energiafgrøder og halm, men også teknikker til delvis eller fuldstændig separation af den afgassede biomasse i koncentrerede gødninger og rent vand.

I forbindelse med forskning og udvikling indenfor bioethanol har virksomheder som Biogasol A/S og Inbicon A/S udviklet forbehandling til halm, som også kan bringes i anvendelse før en biogasproces. Andre virksomheder har gennem flere år udviklet systemer til lav- og højteknologisk separation af afgasset biomasse, herunder BioFuelTechnology ApS, og flere danske virksomheder udvikler komponenter til sådanne komplette systemer. Disse teknikker er testet i semi- og fuldskala og står foran generel markedsføring. Såvel forbehandling som efterbehandling fremmer både økonomien og interessen for biogasanlæg.

The BioFuels Technology A/S principal three step biofuel system



ET ANLÆGSSCENARIUM

Et generaliseret storskala anlægsscenarium med en robust biomasse menu samt nye teknikker kan se ud som følger:

Biomasse input menu (fase 1):

Biomasse substrat	Årlig mængde i tons	Biogas i m ³
Husdyrgødning	750.000	15.000.000
Halm	75.000	30.000.000
Energiafgrøder	175.000	30.000.000
I alt	1.000.000	75.000.000

De 75 mill m³ biogas svarer til 50 mill m³ biometan (naturgas).

I en udviklet fase vil halm-andelen forøges til f.eks. 100.000 tons og energiafgrøde delen reduceres til f.eks. 100.000 tons.

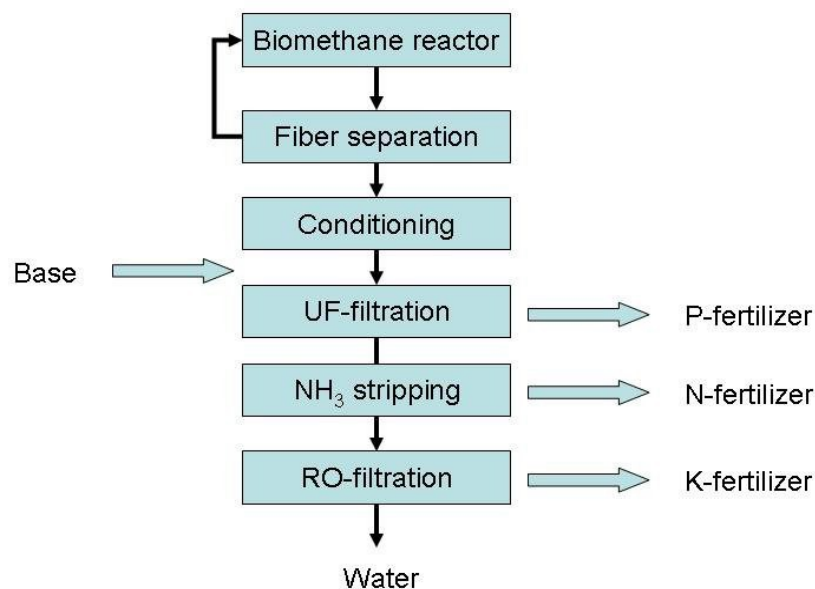
Denne model ligger til grund for et storskala anlægsprojekt ved Tønder, som virksomheden Tønder Bioenergi ApS med bistand af BioFuelTechnology ApS har udviklet gennem en årrække. I fase 1 er det planen, at 25 % af den afgassede biomasse separeres til rent vand og koncentrerede gødninger. Dette skyldes, at der typisk i et opland til biogasanlægget findes en række faciliteter til lagring, transport og udbringning af gylle og derfor er det relevant at indfase separation i faser. Herved kan den eksisterende struktur afskrives og ny teknik indpasses i et tempo, der accepteres af jordbruget. Det samlede projekt har således også en risikoprofil, der er acceptabel for investorer.



Maabjerg Bioenergi (ca. 500.000 tons og 18 mio. m³ metan) og derfor ca. 1/3 del af storskalaanlæg.

Det rene vand anvendes til markvanding, medens separerede næringsstoffer primært tilsættes den resterende afgassede gylle, som herved justeres til et optimalt indhold samt vægtning mellem de forskellige næringsstoffer N, P og K. Herved skal der ikke udvikles et alternativt distributionsystem fra dag et, men dette kan etableres i takt med at de nye gødninger dokumenteres og accepteres af jordbruget. I det endelige scenarium udvides separationen til at omfatte hele den afgassede mængde og anlægget fremstår således som et moderne energianlæg og bioraffinaderi.

FlexFuel - separation



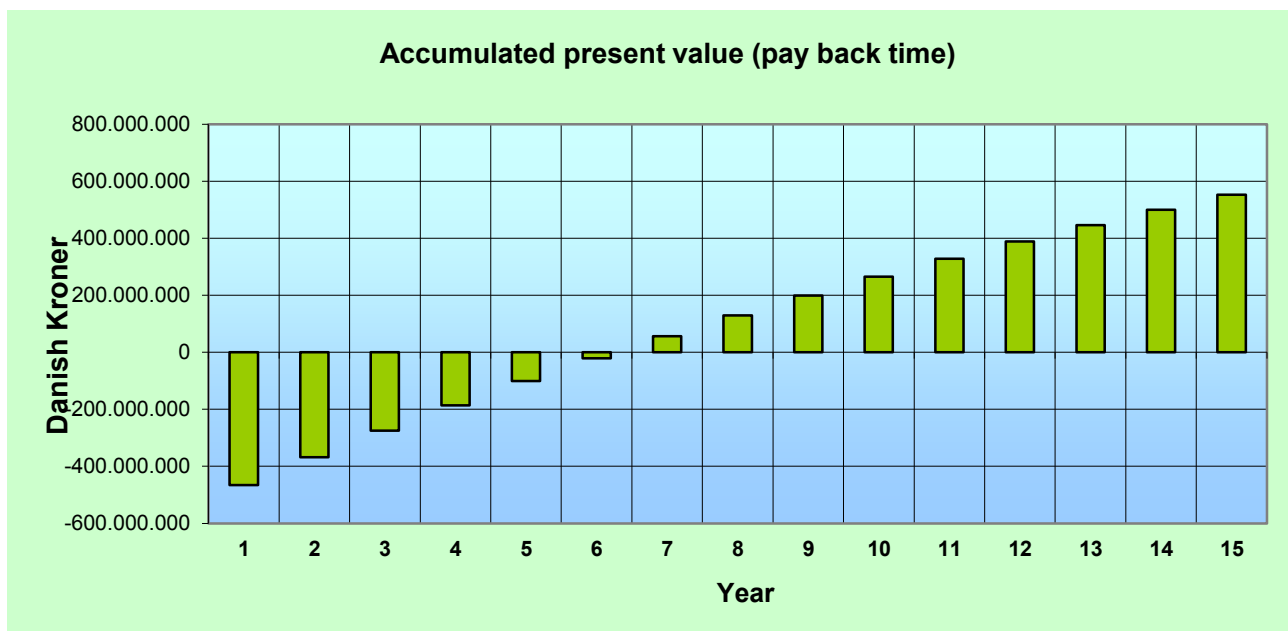
Biogassen renses og injiceres i naturgasnettet, hvilket er økonomisk rationelt i større anlæg. Således benyttes naturgasnettet til lagring og distribution af gassen og kan herfra benyttes til alle formål lige fra transportformål til kraftvarme eller varme.

ØKONOMI

Anlægsprisen for et sådant anlæg inklusive jord, bygninger, en lastbilflåde til transport af gylle, finansieringsomkostninger mv. er af størrelsesordenen 600 mio. kr.

Med en gaspris i intervallet mellem 4-5 kr. per Nm³ biometan vil der kunne opnås en positiv anlægsøkonomi og en fornuftig forrentning af den investerede kapital.

Der indgår naturligvis en række forudsætninger for den økonomiske analyse, men alle hovedtal er velkendte fra sammenlignelige anlæg som f.eks. Lemvig og Måbjerg anlæggene så analysen vurderes som robust.



Den absolut væsentligste enkeltstående økonomiske faktor er gasprisen, men med de seneste meldinger fra regering og opposition synes dette at være et afklaret forhold. Desuden kan gassen i princippet eksporteres og afsættes i hele Europa, hvor den måtte opnå den højeste pris. Også af denne grund er prisniveauet fastlagt.

PERSPEKTIVERING

Med de dominerende biomasser i det åbne danske jordbrugslandskab, husdyrgødning og halm, kan der etableres en vedvarende gasproduktion, der næsten kan erstatte det nuværende forbrug af naturgas.

Prisen for gassen er tillige konkurrencedygtig med naturgassen alt taget i betragtning. Med alt taget i betragtning menes tillige den miljø-, klima- og beskæftigelsesmæssige effekt som en sådan satsning også medfører.

Miljøeffekten knytter sig til afgasning og omfordeling af husdyrgødning, og på sigt, at hele gyllemængden afskaffes til fordel for koncentrerede gødninger, der kan anvendes optimalt og med minimale tab.

Anlæggene bør placeres strategisk rigtigt i forhold til forekomst af husdyrgødningen og de miljøfølsomme områder, hvis drift kan integreres med driften af sådanne storskala biogasanlæg. Der kan tages slet af enggræs på lavbundsjord og følsomme arealer kan dyrkes med græs og andre energi/miljøafgrøder med et tilsvarende økonomisk resultat som f.eks. kornafgrøder. Herved bevares arealerne i en økonomisk omdrift, men de får et langt større miljø- og naturindhold (Inbium).

PAUL LA COUR REVISITED

Paul la Cour – Danmarks Edison – og den moderne vindmølles opfinder, arbejdede allerede i 1890'erne med oplagring af vindkraft. Han konstruerede derfor verdens første elektrolyseapparat, som anvendte el fra Paul la Cours forsøgsmøller på Askov Højskole til fremstilling af ilt og brint.

”Ved hjælp af vindens energi skulle vingernes bevægelse få en dynamo til at fremstille elektricitet, som derefter blev ledt ned i et kar med vand, hvor elektriciteten ville spalte vandet i luftarterne ilt og brint, som hver for sig skulle opsamles i gastanke. I første omgang kunne gasserne bruges til belysning, som det skete på Askov Højskole, men Poul La Cour fandt også ud af, at luftarterne kunne bruges til autogensvejsning. En tid var han førende på dette område.”



”ELEKTROLYSEKÆLDEREN UNDER POUL LA COURS MØLLEBYGNING I ASKOV, CA. ÅR 1900. I KÆLDEREN STOD 10 ELEKTROLYSEKAR. STRØMMEN TIL ELEKTROLYSEN KOM FRA JÆVNSTRØMSDYNAMOER TRUKKET AF MØLLEN. I

GODT MØLLEVEJR KUNNE MAN KOMME OP PÅ 1000 LITER BRINT OG 500 LITER ILT I TIMEN.”
<http://www.poullacour.dk/dansk/vindkraften.htm>

Dette grundlæggende princip er i dag højaktuelt og der er store perspektiver forbundet med kombinationen af vindmølle el, og for den sags skyld også solcelle el, med elektrolyse og de muligheder der heri ligger for lagring af energi.

Der er talt meget om brint-samfundet og der skal ikke her tilføjes til disse visioner. I stedet skal der peges på en oplagt mulighed for at udnytte overskudsstrøm eller ”off-peak” el til produktion af naturgas via elektrolyse og biogasanlæg.

CO₂ OG BRINT TIL METAN

Kuldioxid fra biogasanlægget og brint fra elektrolyse kan omdannes til metan. Denne omdannelse sker via brint, som reagerer med CO₂ over katalysatorer. Reaktionen er velkendt og f.eks. Haldor Topsøe er førende indenfor katalytiske industrianlæg, og kan også producere anlæg til produktion af metan ud fra brint og CO₂. Der er også andre metoder og virksomheder, men afgørende her er, at reaktionen er kendt.

Brutto-reaktionsligningen er: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Princippet er således,

- at der anvendes vindmøllestrøm til produktion af brint via elektrolyse
- CO₂ fra biogasanlægget tilføres en katalytisk reaktor, hvor CO₂ og brint kombineres med høj effektivitet til metan.
- metan lagres og distribueres via naturgasnettet eller lagres lokalt og anvendes til transportformål, kraftvarme eller fornyet el-produktion.

Dette giver en betydelig forøget produktion af naturgas i forhold til biomasse potentialet. I princippet er der ingen grænser for hvor meget kulstofbåret energi, der kan fremstilles via biomasse CO₂ og brint. Der kan naturligvis også anvendes CO₂ fra andre kilder, men fordelene ved CO₂ fra biogas er, at den ikke kommer fra fossile brændstoffer, at den er koncentreret i biogassen (35 %) og at den i øvrigt fremstilles i ren form i forbindelse med opgradering af biogas til naturgas.

Den diskontinuerte produktion af brint kan udjævnes via brintlagring i forbindelse med et biogasanlæg og omdannes til metan i en kontinuert proces, hvorefter den tilføres naturgasnettet fra biogasanlæggets gasnet tilslutning. Dette udgør en meget praktisk udnyttelse af overskudsstrøm, som ikke kræver opbygning af nye distributionssystemer. Desuden er der ingen principielle grænser for hvor meget energi, der kan udnyttes via elektricitet fra sol og vind, elektrolyse og biogasanlæg. El-nettet er etableret og i drift, - og naturgasnettet er etableret og i drift.

Endeligt er der heller ingen principielle grænser for anvendelsen af naturgas til transportbrændstof som CNG eller LNG både til tung trafik, personbiler og skibstrafik. Flytrafikken er en anden sag, men her kan der i givet fald fremstilles kerosen via reaktioner med CO₂ og brint og Fischer-Tropsch processer. For en diskussion af emnet se blandt andet CONCITO 2010.

I forhold til produktionen på landsplan i et udbygget biogasscenarium kan der således produceres yderligere ca. 50 PJ naturgas baseret på biogas CO₂. Såfremt CO₂ fra røggasser fra afbrænding af

naturgas inddrages kan der yderligere fremstilles i princippet den mængde naturgas, der er nødvendig for at forsyne hele landet med kulstofbåret energi.

Energieffektiviteten i nye elektrolysesystemer er meget høj (~90 %) og de økonomiske overslag er positive for modellen under forudsætning af at overskudsstrømmen er billig.

Konceptet er unikt på verdensplan og vil på afgørende vis sætte Danmark og danske virksomheder på verdenskortet – også med den historiske reference til Poul la Cour.

FORSLAG TIL DEN DANSKE REGERING

Med det nye energiforlig er der udmærkede rammebetingelser for en udbygning af biogassen på kort sigt, og der peges på industrielle anlæg med salg og distribution af gas via naturgasnettet og med moderne forbehandlings- og separations-teknikker som det mest økonomiske og interessante anlæg.

På længere sigt vurderes det, at biogas/naturgas og Poul la Cour koblingen mellem vind/sol og naturgassystemet kan udgøre rygraden i dansk energiforsyning. Danmark kan helt enkelt blive 100 % selvforsynende med vedvarende energi baseret på denne model.

Det foreslås derfor, at Regeringen arbejder videre med udvikling af en industriel biogasvision og gerne med elementer fra nærværende notat.

Det foreslås endvidere, at Regeringen hædrer Paul la Cours arbejde og visioner og medvirker til etablering af nye (forsøgs) systemer til lagring og anvendelse af vind-el via naturgas.

Regeringen skylder helt enkelt Paul la Cour, historien og fremtiden en særlig indsats på området.

AFSLUTNING

Nærværende projekt er gennemført med et tilskud fra EUPD, jf. tilsagnsskrivelsen appendiks 2. Projektgruppen skal derfor udtrykke et stort tak for samarbejdet.

På basis af dette arbejde og det fremadrettede arbejde vil vi gøre vores del til at Danmark som nation kan være med til at sætte en ny dagsorden for bioenergi her i landet og forhåbentligt også i øvrige dele af verden.

I den forbindelse skal det fremhæves, at Torben A. Bonde var inviteret til ”2nd China International Gas Energy Summit” i Anyang, Kina i november 2011. Her var et af de dominerende temaer biogas og biogassubstrater, og det stod lysende klart på konferencen, at Kina afviser enhver brug af energi-afgrøder som f.eks. energimajs som biogassubstrater. Det er helt enkelt bydende nødvendigt, at landbrugsjorden i Kina primært anvendes til fødevarerproduktion. Derimod var der meget stor interesse for anvendelse af ”crop residues” afgrøderester som især halm sammen med husdyrgødning og andre former for kommunalt og industrielt affald.

I lyset af at Kina producerer 728 mio. tons halm årligt og i øvrigt har en meget stor animalsk produktion kan det have stor betydning, at der udvikles nye biogaskoncepter med tilhørende teknikker.

Det er meget tænkeligt, at Kina i stor stil vil udnytte biogas og især husdyrgødning og halm som substrater hertil.

Landbrug er imidlertid til stede i hvert land på alle kontinenter verden over, og biogassen kan derfor udgøre et meget vigtigt bidrag til at håndtere alle organiske affaldsstrømme miljømæssigt optimalt og samtidigt opnå en betydelig bæredygtig energiproduktion.

Produktion af biogas og anden bioenergi kan desuden integreres med el-produktion fra sol og vind således at ”overskudsstrøm” udnyttes til opgradering af CO₂ fra biomassen til metan eller andre syntetiske brændstoffer – den såkaldte Poul la Cour kobling. Dette peger på en integration af el- og naturgasnettet på en sådan måde, at sol, vind og biomasse kan udgøre de langt dominerende kilder til fremtidens energiforsyning.

APPENDIX 1: TILSAGNSSKRIVELSEN FRA ENERGISTYRELSEN OG DEN ØKONOMISKE RAMME

Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP).

Området: Biomasse

Projekttitel: EUDP 10-II, Industrial scale straw-to-biomethane conversion - a new business opportunity

I henhold til Finanslov 2010 samt lov nr. 555 af 6. juni 2007 kan EUDP yde tilskud til bl.a. udviklings- og demonstrationsprojekter samt forskningsprojekter, der understøtter forberedelsen af udvikling og demonstration.

Med henvisning til den fremsendte ansøgning og budget dateret 17. september giver EUDP hermed tilsagn om støtte til dele af ovennævnte projekt på den betingelse, at der fremsendes en revideret ansøgning og budget.

EUDP ønsker at give tilskud til projektets første del dvs. WP1, WP2 og WP3 frem til milepælen M2.

EUDP ønsker ikke med dette tilsagn at give tilskud til WP4.

Projektet var i ansøgningen budgetteret til 17.570.000 kr., og det er i senere oplyst, at budgettet til og med milepælen M2 er budgetteret til kr. 4.000.000,00.

Det maksimale tilskud kan ikke overstige kr. 1.930.000,00.

Tilskuddet udbetales som en procentvis andel af de afholdte udgifter.

Projektspecifikke vilkår

Projektet skal være afsluttet 01-06-2013.

Den reviderede ansøgning skal indeholde WP1, WP2 og WP3 frem til milepælen M2. Budgettet skal kun indeholde de poster, der er nødvendige for at gennemføre og afrapportere disse opgaver. Budgettet må ikke indeholde opgaver under WP4 og WP5.

Budgettet skal desuden justeres således, at støtteprocenterne er i overensstemmelse med EU's bestemmelser om støtteintensiteter, hvor "eksperimentel udvikling", der gennemføres af små virksomheder i et samarbejde højst kan støttes med 60%.

Energinet.dk har støttet projektet "Extrusion pretreatment improving biogas production", der har lighedspunkter med nærværende projekt. Ansøger bør i det omfang det er relevant for begge parter udveksle informationer og erfaringer med deltagerne i dette projekt.

Der skal én gang årligt jf. de generelle vilkår, se nedenfor, og i øvrigt på foranledning af EUDP eller efter behov, redegøres for projektets fremdrift holdt op mod de planlagte milepæle for projektets løbende resultater. EUDP lægger vægt på, at de opstillede milepæle indfries successivt som planlagt, herunder med det planlagte ressourceforbrug. Såfremt projektets fremdrift vurderes at være utilfredsstillende kan EUDP tage skridt til et helt eller delvist bortfald af tilskud jf. de generelle vilkår pkt. 2.9: Bortfald af tilskud.

Generelle vilkår

Det er en betingelse for tilsagnet, at projektet gennemføres i overensstemmelse med:

- ovennævnte ansøgning eller godkendte ændringer af denne,
- Generelle Vilkår for udbetaling af tilskud m.v. incl. bilag: Revisionsinstruks og Paradigma for standardpåtegning uden modifikation, september 2010. De Generelle Vilkår kan opdateres af EUDP-bestyrelsen, såfremt det skønnes

nødvendigt. Seneste sæt Generelle Vilkår gælder for alle igangværende projekter. Den gældende udgave ses på link nedenfor.

Der gøres opmærksom på, at

- tilskud kun udbetales til afholdte udgifter, som ligger inden for de godkendte beløb på de enkelte budgetposter (se Generelle Vilkår for EUDP under Udbetaling).
- ændringer af det godkendte projekt fagligt som økonomisk skal godkendes skriftligt af EUDP.
- det ved formidling om projektet på hjemmesider og i pressemeddelelser mv. skal fremgå, at projektet har modtaget tilskud fra EUDP. Dette skal så vidt muligt også sikres ved omtale af projektet i pressen.

De Generelle Vilkår incl. bilag samt de rapporteringsskemaer, der skal anvendes, kan findes på nedenstående link i bilagslisten.

Ønsker De at modtage tilskuddet på de givne betingelser, skal De inden en måned efter brevdatoen indsende:

- Revideret ansøgning med tilhørende budget, der opfylder ovenstående krav
- Acceptskema (til EUDP-sekretariatet)
- Projektinformationsskema (til Risø Bibliotek og til EUDP-sekretariatet, så vidt muligt elektronisk). Risø Bibliotek registrerer alle igangværende og afsluttede projekter. De angivne oplysninger vil endvidere blive anvendt i EUDP-publikationer.

Såfremt EUDP ikke har modtaget revideret ansøgning med tilhørende budget samt Acceptskema og Projektinformationsskema inden for tidsfristen, og der ikke foreligger en skriftlig aftale med EUDP om et senere fremsendelsestidspunkt, bortfalder nærværende tilsagn.

Ved henvendelse til EUDP om projektet, bedes De benytte ovennævnte 64010-0423 og Industrial Scale Straw-to- biomethane conversion – a new business opportunity. Henvendelse vedr. projektet bedes rettet til Bodil Harder

Klagevejledning

I henhold til § 16 i lov nr. 555 af 6. juni 2007 om et Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram kan afgørelsen ikke påklages til anden administrativ myndighed. Der er dog adgang til at klage over retlige spørgsmål i forbindelse med afgørelsen.

Klager over retlige spørgsmål skal indbringes for Energiklagenævnet, Frederiksborggade 15, 1360 København K. Klagen skal være indgivet skriftligt inden 4 uger efter, at afgørelsen er meddelt.

Med venlig hilsen

Aksel Beck

Dokumenter som anvendes under projektførelsen:

Generelle Vilkår for udbetaling af tilskud mv. EUDP, september 2010

Oversigt over tidsfrister EUDP

Acceptskema EUDP (skema01)

Projektinformationsskema EUDP (skema02)

Årsrapportsskema EUDP (skema03)

Afslutningsskema EUDP (skema05)

Økonomiskema EUDP (omfatter: Anmodning om udbetaling / Slutregnskab m.budget / budget, EUDP) (skema04+06)

Alle dokumenterne kan hentes på <http://www.ens.dk/da-DK/NyTeknologi/om-eudp/tilskud/Har-du-faaet-EUDP-tilskud/Sider/Forside.aspx>

APPENDIX 2 GANTT DIAGRAM		M1						M2			M3	
	Måned											
	1	2	3	3	4	5	6	7	7	8	9	
WP1												
Task 1.1 – Projektstyring												
Task 1.2 – Rapportering												
Task 1.3 – Budgetkontrol												
Task 1.4 – Konsortiemøder												
Task 1.5 – Tilstandsbevillinger												
Task 1.6 – Website												
WP2												
Task 2.1 - Final test runs CFN prototype												
Task 2.2 - Laboratory analysis/incubations												
Task 2.3 - Final running optimization												
WP3												
Task 3.1 - Design of container unit												
Task 3.2 - Production of container unit												
Task 3.3 - Transport and installation												
Task 3.4 - Running demo unit												
Task 3.5 - Optimization demo unit												
WP4												
Task 4.1 - Engineering full scale plant												
Task 4.2 - Ordering and construction												
Task 4.3 - Cold and warm test												
WP5												
Task 5.1 - Start up												
Task 5.2 - Full scale phasing in												
WP6												
Task 6.1 - Full scale running												
Task 6.2 - Documentation, modification												
Task 6.3 - Data aquisition (production)												
M1 - Mekanisk og kemisk process defineret (tryk, temperatur, pH, katalysator, tid, faseopdeling, koncentration, kapacitet)												
M2 - Demo container designet, konstrueret, transporteret, idriftsat, og demonstreret.												
M3 - Project finalized and reported.												
WP: Work Package												
M: Milepæle												

APPENDIX 3 THE APPLIKATION.

TITLE "INDUSTRIAL SCALE STRAW-TO-BIOMETHANE CONVERSION - A NEW BIOENERGY AND BUSINESS OPPORTUNITY"

PURPOSE

The project will demonstrate how cereal straw is effectively pretreated and co-digested with animal manures in Lemvig Biogas plant. Full scale plants will substantially increase methane production and gross revenues. The technology is a new cost effective straw pre-treatment technology, which is based on mechanical compression and hydrolysis of the straw in a single combined process.

EXECUTIVE SUMMARY

Agricultural waste and crop residues are a major potential source of energy and fertilizers, and with the optimal technology an equally major business potential.

The global agricultural sector is equally immense as are its adverse environmental and climatic impacts. The UN FAO recently published a report stating that "Livestock is a major threat to environment" and that "Remedies are urgently needed" The report also asked "Which causes more greenhouse gas emissions, rearing cattle or driving cars" stating that the global livestock sector de facto emits more GHG than the global transport sector.

Inevitably - and in time - the global production of agricultural wastes and crop residues must be converted to fuel and fertilizer.

We have developed a new pre-treatment technology for agricultural lignocellulosic crop residues, such as cereal straw, which allow co-digestion with animal manures and achieving the full theoretical biofuel potential of both biomass resources.

The pretreatment technology is available for biomethane as well as bioethanol production or any other biofuel based on lignocellulosic material. The technology will be demonstrated at the Lemvig Biogas plant where cereal straw will be pre-treated and co-digested with animal manure. A side stream of pre-treated straw will undergo enzymatic hydrolysis to demonstrate its applicability for bioethanol production.

The pretreatment technology is a mechanical induced steam-explosion with repeated compression-decompression cycles between 1500-2000 bar pressures and atmospheric pressure. The straw is impregnated with organic acids before steam-explosion, and the explosion process is extended with acid hydrolysis at the explosion temperature for 40-120 min as appropriate. The process runs at water contents of the dry straw in the range of 15-30 % and does not require addition of water except for the water necessary for impregnating the straw with organic acids.

The technology uses a minimum of water, energy, and catalyses, and achieves a near complete

availability of sugars in the straw. Heat is added as kinetic energy mainly and through exothermally chemical hydrolysis reactions.

The technology allows input of dry straw to the biomethane reactors, which is decisive in achieving a positive economy. A conventional 10-times water addition during pretreatment (of 20.000 tons straw) would result in use of 200.000 tons water, an amount equal to the quantity of 200.000 tons animal manure digested in the Lemvig Biogas plant. Such water use is prohibitory to using straw in biogas plants.

Similarly, the use of excess water in straw-to-bioethanol plants results in a number of cost issues with respect to pre-treatment installations, size of pipes, tanks, fermentors etc., and dilute ethanol concentrations for distillation.

The demonstration of the technology will launch a global marketing and sales campaign based on the dealership network of C. F. Nielsen A/S and BioFuel Technology A/S. Complete straw processing lines will be marketed as well as full scale bioenergy plants, including the pre-treatment technology. The project will also serve as a pilot project for achieving an order on a 150.000 tons straw-to-ethanol plant, Danish Biofuel Holding Technology A/S, Grenå Havn.

The total pre-treatment supply for any larger biogas plant is of the order of 2 mill € and the initial market, i.e., 10 % of the 8000 biogas plants currently in operation in Europe, has a value of 1.6 billion €. The further potential in Europe is far greater, as is the potential in USA and globally.

The market potential for straw-to-ethanol is equally potentially large in regions where this solution is preferred over straw-to-biomethane.

When a complete biofuel plant constitutes the sales, and not only the pre-treatment technology, the market potential increases more than 10-fold.

4.1 DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT FOR THE MARKET:

The technology to be further developed and demonstrated is based on mechanical presses normally used for briquetting cellulosic matter. The presses are C. F. Nielsen mechanical presses (www.cfnielsen.dk). A mechanical press is designed as an eccentric press. A continuously rotating eccentric connected to a plunger presses the raw material through a conic die at pressures of 1500-2000 bars. This increases the temperature to 170-180°C and melts the lignin, which subsequently serves as a glue upon cooling. The result is a compact briquette with a density of 1000 kg/m³. The motor has an effect of 55 kW and a capacity of 1-2 tons per hour.

Based on this technology we have developed a complete treatment line for dry cereal straw, which culminates in a mechanical induced compression and steam explosion of the straw. The treatment is extended with mild acid hydrolysis. The straw treatment line consists of a transport conveyor band for big bales, a shredder and mixer, a cyclone for removal of sand and gravel, and a hammer mill. The final steps are compression and steam-explosion in a mechanical press developed for the purpose.

The explosion process begins with impregnation of straw as appropriate in a chamber before a piston compresses, decompresses and explodes the straw between 1500 – 2000 bars and atmospheric

pressure. When the exploded straw leaves the press at high density, it enters an extended isolated pipe with a larger diameter than the press cone. Any combination of process parameters is possible with this system including moisture content, choice of catalyser and concentration, time, pressure, and pH.

THE PROJECT AND TECHNOLOGY

The project will demonstrate conversion of cereal straw to biomethane at the large scale common biogas plant, the Lemvig Biogas Plant, which presently digests 200.000 tons manure mainly with some organic waste.

The preferred version of the method for biomethane production include impregnation of straw with moisture and acetic acid before mechanical steam-explosion at 140-150oC and extending the process by continued hydrolysis at 140-150oC for 40 – 120 minutes.

The mild hydrolysis is performed as acid hydrolysis using an organic acid. Organic acids, as opposed to inorganic acids such as sulphuric acid, do not impair the anaerobic digestion and do not require subsequent neutralization. The organic acids are simply converted to biomethane by the methanogenic bacteria thus increasing the pH to neutral. The buffer capacity of the ammonia – carbohydrate system of the digestate also contributes to neutralize the hydrolyzed straw.

While it has been found that maleic acid per se, and groups of organic acids, are more effective in comparison to specific carboxylic acids, the use of acetic acid is more cost effective. Acetic acid is additionally a key intermediate and substrate for methanogenic bacteria and is therefore easily converted to biomethane. The acetic acid hydrolyzes the straw while being a subsequent substrate for further biomethane production.

Because the pre-treatment is performed under mild conditions it produces no substantial quantities of inhibitors as shown by incubation experiments with concentrations of straw from 1-10% of an incubation volume. The increase in biomethane production is linearly proportional to the straw added.

DOCUMENTATION

The scientific field of rendering cellulosic matter available for enzymatic hydrolysis and fermentation to biomethane or bioethanol are well established. With respect to straw it is shown that dilute acid hydrolysis at 140oC in 40 min at pH 1-2 (sulphuric acid) yields a complete theoretical sugar yield (see e.g. Lloyd & Wymann 2005 Combined sugar yields for dilute sulfuric acid pre-treatment of corn stover followed by enzymatic hydrolysis of the remaining solids. Bioresource Technology 96, 1967-1977). It is further well established that maleic acid is as effective as sulphuric acid as is acetic acid in somewhat higher concentrations in comparison to maleic acid (see e.g. A. Maarten J. Kootstra, Hendrik H. Beeftink, Elinor L. Scotta and Johan P.M. Sanders: Comparison of dilute mineral and organic acid pretreatment for enzymatic hydrolysis of wheat straw Bio-chemical Engineering Journal Volume 46, Issue 2, 1 October 2009, Pages 126-131)

Massive information is available on steam-explosion including several review papers (e.g. Farid Talebnia, Dimitar Karakashev, Irini Angelidaki Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation Biochemical Engineering Journal Volume 46, Issue 2, 1 October 2009, Pages 126-131)

IMPROVEMENT OF STATE-OF-THE-ART

The improvements to known alternatives include:

- Addition of heat as mechanical kinetic energy during compression and decompression cycles (no steam or hot water is added). Some heat is generated through exothermically chemical hydrolysis reactions. The electric use is approximately 25-50 kWh per tons straw which corresponds to 1-2 percent of the energy content of the generated biomethane (300 m³ per tons equivalent to 3000 kWh).
- A complete control of process parameters in a very compact design. The reaction chamber is measured in liters rather than cubic meters due to the compression of the straw during pre-treatment.
- A minimal use of water, energy, and catalyses, and highly concentrated input to the biomethane or bioethanol reactors (dry matter of 70-85%).
- A near complete availability of sugars in the straw.
- The organic acid catalyses are converted to biomethane in the digester and cost therefore recovered.

Using this method we are able to unlock the bioenergy potential of straw for biomethane production and to realize this potential in an existing large scale biomethane facility.

4.2 THE CONTENT AND ACTIVITIES IN THE PROJECT

The purpose of the demonstration is to display the potential of collecting and pre-treating the straw, over digesting it in the biogas plant and producing the full biomethane potential, until finally displaying the net economic outcome. An additional purpose is to demonstrate conversion of a side stream of pre-treated straw to sugars for bioethanol production.

In both cases it is of paramount importance to demonstrate the concept and technologies in order to be able to penetrate the market. When achieved, a complete straw line will be offered to the Lemvig Biogas Plant and, when sugar availability is achieved for bioethanol, an engineering contract on converting 150.000 tons straw annually to bioethanol will be offered to the Danish Biofuel Holding Technology A/S in Grenå Havn. Subsequently a construction contract will be pursued on the plant. The two projects will serve as the blue prints based on which a global sales effort will be launched.

The biomethane demonstration includes technology adjustment in terms of the physics and mechanics, and the interaction with the chemistry of straw, water and catalysts. The shredded straw will be impregnated with varying quantities of water and acetic acid before compression-decompression cycles to find the optimum under any given set of circumstances. Comparisons will be made with sulfuric acid.

The demonstration also includes the microbiological conversion of pre-treated straw to biomethane in the biogas plants and the detailed aspects hereof, including the mechanics of injecting the straw, stirring the straw amended liquid and preventing floating covers, acquiring the mineralization kinetics of pre-treated straw and its dynamics with nutrients and the anaerobic mikroflora, setting boundaries for the organic loading rate of pretreated straw, and logging the main process parameters of the anaerobic digestion including temperature, pH, volatile organic acids (VFA), gas quality (percentage methane, carbon dioxide, hydrogen sulfide, ammonia, VOC), hydraulic retention time and gas yield.

Preparation of the market in an early stage is essential for sourcing and developing the bioenergy

projects, which are first to proceed to concrete commercial order. In this respect, the marketing efforts of BioFuelTechnology Aps have already created potential projects in Europe, USA, and Ukraine. In USA, Michigan, the Dave Lott and the Grand Rapids projects are prime cases of large scale livestock operations in need of disposal means of livestock manure and with access to large quantities of cereal straw, corn stalks and soy bean stalks. The East Dairies projects in Ukraine are similarly developed for providing the full energy infrastructure of a very large dairy milk production of 20.000 dairy cows including production of gas, power and heat, and bioethanol.

The C. F Nielsen A/S has a wide distributor net in Europe and USA which primarily are servicing the market for mechanical presses for briquetting solutions. However, the distributor net is contact with a number of biomass producers and can therefore serve as stepping stones for technical sales of bioenergy projects as well as direct sales to bioenergy projects when the co-digestion system is well demonstrated on the various markets.

The C. F. Nielsen A/S, with its core expertise on mechanical presses, and BioFuelTechnology Aps, with its core expertise in biochemical processing of biomasses for biofuels, is a powerful partnership for a coordinated sales campaign.

4.3 DISTRIBUTION OF RIGHTS:

The two industrial partners C. F. Nielsen A/S and BioFuelTechnology Aps possess all rights to the technical equipment and the bioenergy concepts.

The C. F. Nielsen possesses all rights to the manufacturing and sales of the mechanical presses to the market, whether directly or indirectly through BioFuelTechnology Aps.

BioFuelTechnology Aps develops and markets individual biofuel technologies as well as full scale bioenergy plants. The company has all immaterial rights to the key technologies which perform essential unit operations in the biofuel plants as well as the overall biofuel concepts of the plants.

The Lemvig Biogas Plant is a registered producer of biomethane under the Danish heat supply act the “Varmeforsyningsloven” and has no commercial interests besides supplying biomethane to the community of Lemvig.

The DTU is a technical university serving as a provider of knowledge and laboratory analysis. The University is associated with the project in that function and all rights are thus reserved to the industrial partners. Any protected rights belonging to the University, which is made available to the project, is of course respected as such.

5.1 ENERGY-POLICY OBJECTIVES:

The Danish Government and Parliament have in 2009 agreed a green growth initiative, the so called “Grøn Vækst” initiative. The main stipulation with respect to biogas reads:

- “Create the frameworks for using up to 40 % of all animal manure for energy purposes before 2020. In time, it is the vision, that all manure is used for energy”. (Unauthorized translation).

While the vision is very commendable it will not happen unless conceptual and technology devel-

opments pave the road for anaerobic digestion to become a major energy supplier. The co-digestion of straw with manure is one such new development that will increase the energy output and also provide a framework for industrial scale expansion of the biogas sector.

The current EUDP strategy on biogas reads:

- “Development of robust plants, which can be run economically solely on animal manure as substrate or possibly with addition of the agricultural sectors own crops such as straw, grass or similar crops” (un-authorized translation).

The present proposal thus closely reflects the key strategies on biogas development.

Two potentially conflicting policies (in Denmark) concern the use of straw for incineration on central power plants, or the possible use for 2nd generation bioethanol. In any case, provided equal fiscal incentives, the straw to biomethane are by far the most direct and effective means of utilizing straw for energy purposes. It brings along the use of manure and other wastes and creates a new energy infrastructure of considerable dimensions.

Several additional EU and Danish policies on the promotion of the use of energy from renewable sources, agricultural and environmental policies are all in support of anaerobic digestion. No other energy production provides so many additional benefits, because it also supports food production, environment, climate, agriculture, rural working places etc.

5.2 RESEARCH, DEVELOPMENT AND DEMONSTRATION STRATEGIES IN THE ENERGY FIELD):

The EUDP published an R&D strategy for biogas in 2009. The primary focus areas include 1) development of biogas plants digesting agricultural waste only and thus being independent of scarce industrial organic wastes, and 2) models for phasing in of biomethane in the future energy system. The more detailed focus areas include pre-treatment technologies for lignocellulosic material. The present application with pre-treatment of straw and co-digestion of manure and crop residues is therefore a direct match with these areas.

Based on a Governmental strategy on liquid biofuels of 2005 the EUDP also support R&D and demonstration on 2nd generation biofuels. The present project is a direct continuation of this because the demonstration also serves as a pilot project for a 150.000 tons straw-to-ethanol project in co-operation with Danish Biofuel Holding Technology A/S.

Biomethane or bioethanol may both have a role to play in the future energy supply. However, bio-methane can be converted to power and heat; it may be cleaned and compressed for distribution in natural gas grids, and used as 2nd generation vehicle fuel. It is, on the other hand, also the purpose to demonstrate a straw pre-treatment technology potentially to be used for bioethanol. In this respect it has been found that both technologies contribute substantially to reducing greenhouse gas emissions (see below).

Estimated typical and default values for GHG reductions for future biofuels that were not on the market or were on the market only in negligible quantities in January 2008, if produced with no net carbon emissions from land-use change. (Directive 2009/28/EC)

Biofuel production pathway	Typical GHG emission saving	Default GHG emis-
Wheat straw ethanol	87%	
85%		
Biogas from wet manure as compressed natural gas	84 %	
81 %		
Biogas from dry manure as compressed natural gas	86 %	
82 %		

5.3 DISSEMINATION PLANS

Demonstration of the technology and the associated economics is fundamental to the sales and marketing of the technology. When achieved, and also during the process of achieving the information, newsletters and trade periodicals will be published on a regular basis.

The biogas community, clients and customers will additionally be invited to onsite inspection of the technology in operation. The Lemvig Biogas staff frequently receives visitors and is capable of assisting in demonstrations. The more specific client demonstrations are taken care of by C. F. Nielsen A/S and BioFuelTechnology Aps.

Brochures and folders will be published and used in the general marketing of the technology. Brochures will be published in several languages according to the marketing strategy. Webpages of both BioFuel Technology A/S and C. F. Nielsen A/S will be updated with comprehensive information on the Lemvig Biogasplant and its pre-treatment facility. The established sales cannals of C. F. Nielsen on all 5 continents will be used for marketing both C. F. Nielsen A/S and BioFuel Technology A/S products and services. The co-operation of both companies and joint marketing of products will strengthen the overall sales - the quality and range of services is a benefit to clients as well as the industrial partners.

Finally, the results will be communicated to policymakers and the general public; policymakers, because it is important that the potential of the technology is understood and appreciated; the general public because its awareness of solutions and opportunities is equally important.

6.1 TARGET GROUP AND THE ADDED VALUE FOR THE USERS):

The energy and economic potential for straw-to-biomethane are as follows: One tons of straw digests to approximately 300 m³ methane corresponding to 3,000 kWh primary energy. The remaining energy potential resides with the lignin content (corresponding to app. 100 m³ bio-methane), which is not digested. The lignin is recycled to soil organic matter with the digestate improving soil quality and carbon storage.

If the biomethane is converted to power and heat and sold under Danish conditions, the energy sale equals 1200 kWh electricity and 1350 kWh heat, corresponding to 900 and 300 Dkr., respectively. The price of straw is 500 Dkr. and the gross revenue is 700 Dkr. per tons. Capital and maintenance costs are app. 100 Dkr. per tons and the net revenue is therefore of the order of 12 mill Dkr. annually. The benefit to present and new biogas plant owners is therefore evident. However, if the biogas plant cannot digest the organic load of 20.000 tons but 10 or 15.000 tons

the economy is substantially poorer.

The known methods of straw pre-treatment are all based on initial mixing with water at 10-20 times the straw quantity. The present method is not. Such quantity of water, often to be increased in temperature to 180-120°C, is a major cost issue as well as water and energy use issue. For instance, the heat capacity is 1.2 J/g K for straw and 4.2 J/g K for water. A typical 10-times addition of water thus increases the direct energy use more than 40 times relatively to no water addition.

Further downstream effects of excessive water addition, such as dilute concentrations of sugars and ethanol and expensive distillation costs, are further costly consequences. Generally, the direct pre-treatment costs are considered to 30% of total straw-to-ethanol costs, but including consequential costs for downstream processes, the real cost is higher. One key to expanding the straw-to-ethanol industry is to introduce new pre-treatment methods using a minimum of water.

6.2 ANALYSIS OF COMPETITION

The direct conversion of straw-to-biomethane has not been demonstrated or investigated on an industrial scale. This is true even if some of the straw pre-treatment technologies developed for bioethanol may also be applied for straw-to-biomethane. It has been shown, on the other hand, that some bioethanol pre-treatment technologies are not suitable as pre-treatment before a biomethane process. This counts for wet oxidation and high temperature steam explosion. The formation of side products is simply inhibitory to the methanogenic bacteria, and these treatments have been shown to reduce straw decomposition and biogas formation relatively to untreated straw. Formation of inhibitors during any pre-treatment must therefore be eliminated or reduced to a minimum.

A variety of companies have developed technologies and processes for pre-treatment of straw. Examples include 1) SunOptas staketechnology hydrolysator (stem explosion); 2) Abengoa prototype for corn stalks and cones (a variation of SunOptas hydrolyser); 3) DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC; 4) Cambi A/S hydrolyser for sewage waste and straw; 5) DONG Energy A/S (Inbicon A/S) prototype plant (steam/hot water hydrolysis of straw); 6) Biogasol A/S prototype (wet oxidation). Common to these technologies are addition of energy as hot water or steam and addition of water.

Several companies globally produce machinery for producing wooden pellets or briquettes to supply the market for such products. In the USA alone a search reveals 27 companies in the field, where relatively few are producing machinery for briquetting straw. None of the companies are found to have developed the briquetting or pelletizing into a pre-treatment method for straw.

The technology as such is, however, relatively simple, so when demonstrated it is certain to be copied. The market is very large and competition will help developing the industry to become a global source of energy and working opportunities.

6.3 MARKET POTENTIAL

The global livestock production is considerable as is the global production of agricultural waste and crop residues. Under the assumption that it becomes a sound investment to co-digest straw and animal manures, initially in Europe and USA and subsequently globally, the market is immense.

Currently, 8.000 biogas plants are in operation in Europe and a few hundred in the USA. This represents only a fraction of the potential. Also, several countries have developed policies to promote anaerobic digestion and the number of biogas plants will increase in the years to come.

If the 10% largest biogas plants are considered the prime target of the technology we are looking at an immediate of 800 plants, several of which are located in Germany, UK and Denmark. The primary market of C. F. Nielsen A/S is Germany and the company has extensive dealer network in Germany. The initial marketing focus will therefore be Denmark and Germany.

The total pre-treatment supply for any larger biogas plant is of the order of 2 mill € and the initial market has a value of 1.6 billion €. The further potential in Europe is far greater, as is the potential in USA and globally. When a complete biofuel plant constitutes the sales, and not only the pre-treatment technology, the market potential increases more than 10-fold.

The report Next-generation ethanol and biochemicals: what's in it for Europe? Bloomberg New Energy Finance 2010 suggest a conservative forecast that between 250m and 300m tonnes of biomass residues will be annually available in EU 27 for bioproduct conversion by 2020, without changing today's agricultural land use patterns or cultivating new energy crops. By 2020 most of this available biomass residue resource could be annually processed into between 75bn and 90bn litres of next-generation ethanol, displacing between 52% and 62% of EU27 forecast fossil gasoline consumption. The market is potentially substantial also for biomass to ethanol conversion.

6.4 MARKETING PLAN

The cornerstone of the initial marketing plan is a comprehensive demonstration of the straw-to-biomethane conversion on an industrial scale. The demonstration includes all aspects of the technology, i.e., the pre-treatment technology as such, the subsequent digestion in the biogas plant, process optimization, and the economic evaluation.

When achieved, and during the process of achieving this, the combined marketing platform of C. F. Nielsen A/S and BioFuelTechnology Aps will be used to introduce the concept and the technology. Project development and technical sales takes time and early sourcing and developing a host of potential projects is important.

BioFuelTechnology Aps has an established dealer network on key markets, i.e., the USA (American BioEnergy Michigan), Ukraine (East Dairies Ltd), Korea (DanKore), with Greece in preparation (Selected Energy SA). The introduction on these markets will parallel the introduction to the European markets.

C. F Nielsen has been marketing briquetting solutions for 65 years and today the company has sold its solutions in all 5 continents. The company has an established dealer network in the main European markets, North America and several other markets. During the last 3 years there has been an increasing demand for briquetting solutions for agricultural biomass and the company will intensify the marketing of the new concept.

The marketing plan will focus on the focus on the following elements:

- Extensive use of the demonstration plant for customer visits

- Visits to C.F. Nielsen to support the technology and project management
- A web-site to support the concept and dealers
- Brochures and videos about the concept
- Articles in technical journals
- Advertisements in trade journals
- Participation in industry exhibitions within the market segment
- Others

7.1 ORGANISATION/MANAGEMENT AND PROFESSIONAL COMPETENCIES

The industrial partners, BioFuelTechnology Aps and C. F. Nielsen A/S, perform all work packages of the project. The project is managed as a traditional industrial turnkey supply of a process plant.

C. F. Nielsen has more than 100 years of experience – and 65 years in briquetting! C.F. Nielsen A/S is a world leading manufacturer of briquetting presses. The company supply briquetting solutions to industrial and private consumers all over the world. The supply is typically turnkey supplies where the customer is guided from start to finish through the complete briquetting process. The slogan of the company is C. F. Nielsen A/S – your reliable briquetting partner! The company was recently recapitalized and further developed with Dansk Kapitalanlæg and the present CEO Mogens Slot Knudsen as investors. www.cfnielsen.dk

BioFuelTechnology Aps has years of experience with pre-treatment of lignocellulosic material for biogas plants and the subsequent anaerobic digestion. Based on these several years of operating and developing experience, the company developed the biochemical procedure for pre-treating straw with mechanical presses in cooperation with C. F. Nielsen A/S. Recently, BFT developed a major bioenergy project in Detroit, Michigan, where 400.000 tons of sewage sludge is pre-treated and digested to biogas. In Denmark, the company is closely involved in developing the technologies and concepts for a straw-to-ethanol plant for Danish BioFuel Holding Technology A/S.

The Lemvig Biogas plant is the largest biogas plant in Denmark. It is managed by a group of dedicated employees and headed by Lars Albæk Kristensen. The plant is in this context buying the services and equipment of the industrial partners based on performance guaranties.

The DTU, notably prof. Irina Angelidaki, provides laboratory analysis and knowledge on a commercial basis.

7.2 FUNDING

The project is financed by the industrial partners.

Installation costs at the Lemvig Biogasanlæg and purchase of straw for demonstration is also financed by the industrial partners.

The Lemvig Biogasplant support the project with its facilities.

7.3 PUBLIC/PRIVATE COLLABORATION AND RESEARCHER TRAINING

The services of DTU are provided on a commercial basis. The services will focus on chemical analyses and analyses of process parameters as well as online monitoring of the microbial processes in the biogas plant. Also, evaluating the sugar available as a function of process parameters (time, temperature, concentration of catalyzer, pressure, mechanical forces etc.) will be performed by DTU on a commercial basis. These are relatively simple standard procedures for the DTU, however, valuable for the project evaluation and fine tuning.

7.4 CAPITAL EXPENDITURE AND OPERATING COST IN THE PROJECT PERIOD):

The relatively brief demonstration is financed by the industrial partners.

The Lemvig Biogas plant is as such not a partner in the project but a potential client to the two industrial partners. Following successful demonstration it the industrial partners will offer a full scale plants to the Lemvig Biogasplant.

7.5 CONDITIONS AFTER THE PROJECT PERIOD

The demonstration unit and associated utilities will be removed from the site by the industrial partners.

7.6 INCENTIVE EFFECT):

The support from EUPD is essential for the industrial partners and for the Lemvig Biogasanlæg as well. The undertaking is relatively substantial and in view of the present limited economic activity a possible public support is essential to generate the liquidity necessary to carry out the project.

The project risk is also an important factor for decision makers, and the present project poses some risks of proces disturbance at the Lemvig Biogasplant. A substantial addition of straw to anaerobic digesters has never been demonstrated.

The Lemvig Biogasanlæg is well managed and well established, but a presently relatively small biogasproduction does not produce any major financial capacity. The plant manager thus seeks to find ways to increase the biogas production and revenues. The support and general acknowledge from EUPD is essential for the biogas plant to undertake the project.

The C. F. Nielsen has experienced a reduction in sales from late 2008 and innovation and new developments are seen as the way to increase sales. Recent reductions in staff and strained economies do not allow the company to take major risks. The support and acknowledged from EUDP is therefore essential. BioFuelTechnology Aps is a smaller company with no major resources except for capital backing through a recent investor, the R&M Holding. The banking and venture businesses are generally unwilling (or unable) to venture into new projects and public help to lift the guaranties and finances is essential for the company to undertake the project.

APPENDIX 4

EUDP
Specialkonsulent Bodil Harder
bha@ens.dk

J.Nr. 64010-0423

Subject matter:

Status note on the project “Industrial scale straw-to-biomethane conversion.”
Recommendation for a continued project.

Dear Bodil Harder,

As agreed I enclose a brief status note on the results achieved so far on pre-treating straw before a biofuel process using the method of C. F. Nielsen A/S and BioFuelTechnology ApS.

We are pleased with the co-operation and find the work of inspiration to us and we find that the technology could be an important step to use straw as a substrate in biogas plants; I am also sure that the industrial partners appreciate the co-operation.

Briefly, we find the results of great interest and are particularly pleased with the findings that it is possible to pre-treat cereal straw and similar cellulosic matter with no water additions and with a limited use of energy and catalyses. The first results shows a significant increase of the methane yield by using the technology in combination with dilute acid hydrolysis. To my knowledge it is the first attempt to combine a mechanical induced steam-explosion with dilute acid hydrolysis – a recipe that seems very promising.

I recommend going ahead with our common application for a follow up demonstration project that can take the technology to a commercialization.

Best regards,

Henrik B. Møller

./ Status note:

STATUS NOTE

Among the various experiments performed by the industrial partners we have evaluated a series of experiments with cereal straw and meadow grass.

BASIC SETUP

The cellulosic residues were homogenized in a hammer mill to approximately 2 cm stem length.

A mechanical pres demo unit was equipped with a so called A7 cone with an excess diameter of 8,7 cm, which dissipates a moderate amount of energy into the straw. The temperature of the main cone during running of the experiment was 140-150°C.

Wheat straw and meadow grass was used as substrates.

Acetic and sulphuric acids were selected as catalyses. The quantity used was 1% of straw dry matter for each acid.

The temperatures of hydrolysis were 90°C or 140°C.



PROCEDURE

The various samples were impregnated with acid catalysis by spraying and mixing before added to a silo. The straw was screw conveyed to the mechanical press and hydrolysis treatment.

When the compressed straw shaped as a cylindrical briquette left a prolonged cone it was collected into a metal pipe, closed with screw caps and immediately placed into an oven.

After the selected time of incubation the metal pipes were allowed to cool to ambient temperature before stored at -20°C until analysis.

The methane potentials were measured using biological incubations at 30°C. Briefly, inoculants was collected from the mesophilic digester at Foulum, screened and stored before use as inoculums. We used 200 ml inoculums for 10 grams of processed straw. The procedure is a standard procedure for such incubations. We sampled gas frequently during 90 days incubation.

TREATMENTS

We included the following treatments:

- Wheat straw: mechanical press only
- Wheat straw: mechanical press with extended incubation at 140°C for 1 hour

- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1,5 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1 hour
- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour

- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 140°C for 1,5 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1 hour
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour

- Wheat straw: Acetic acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour, plus water
- Wheat straw: Sulphuric acid, mechanical press, incubation at 90°C for 1,5 hour, plus water

- Controls: No treatment

- Meadow grass: mechanical press only
- Meadow grass: mechanical press, incubation at 140°C

- Controls: No treatment

RESULTS

We achieved a significant positive effect relative to controls with acid impregnation of straw. The most significant effect was achieved for acetic acid. In a few cases indications were that sulphuric acid inhibited the methane formation, yet the overall effect was positive.

We also observed a significant effect of incubation temperature and surprisingly it was demonstrated that the 90°C incubations gave a better result in terms of methane yield. This was consistent with both acids used.

We observed no effect of adding water with everything else equal; at a doubling of the water content from 15% to 30% of dry matter. Indications are that pre-treatments can in fact be performed at very high dry matter contents (80-90%).

The maximum yield achieved was 360 l methane per kg volatile solids. This is equivalent to approximately 275 l methane per kg straw (85% dry matter, 90% volatile solids) or 460 l biogas per kg straw (at 60% methane). It is equivalent to a theoretical maximum that is normally considered to be 300 l methane per kg volatile solids.

CONCLUSIONS

An industrial scale use of straw for biomethane would be a minimum of 10.000 tons annually and a rate of application of 10% or more relative to the input of liquid manure. If conventional methods of pre-treatment were used the accompanying water addition would be 5-10 times the straw quantity equivalent to a 50-100 % increase in digestate volume. This is inhibitory to any industrial scale use of straw and it is therefore of paramount importance that methods are developed which are not depending on use of water.

It is therefore of interest to the field of anaerobic digestion that we have found positive effects of pre-treatment of straw with a combination of mechanical and hydrolysis treatment, and that we have achieved the theoretical maximum yield. The use of energy is also limited and in the range of 25-50 kWh per tons straw (relative to 3000 kWh per tons in methane yield).

The conclusions are of course limited to the batches of straw we have worked with and it is now important to include a range of substrates to evaluate and develop the method further and to integrate the straw pre-treatment with the biogas plant and possible modifications there off.

RECOMMENDATION

We recommend a full scale demonstration and further optimization of the method including a full straw pre-treatment line at our biogas facility in Foulum, University of Aarhus.