



Metan fra skovene - mere mellem himmel og jord

Felby, Claus; Christiansen, Jesper Riis; Bentsen, Niclas Scott; Skov, Simon

Published in:
Forskning i Bioenergi, Brint & Brændselsceller

Publication date:
2018

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
[Ikke-specificeret](#)

Citation for published version (APA):
Felby, C., Christiansen, J. R., Bentsen, N. S., & Skov, S. (2018). Metan fra skovene - mere mellem himmel og jord. *Forskning i Bioenergi, Brint & Brændselsceller*, 15(63), 3-6.

15. årgang
Nummer 63
Marts 2018

FIB

Forskning i Bioenergi, Brint & Brændselsceller



Metan fra skovene – mere mellem himmel og jord



Måling af vandindholdet i flis – en udfordring



Brint kan reducere behovet for biomasse



Den perfekte brændeovn

BioPress
☎ 4051 8507
www.biopress.dk

Oversigt over afsluttede
projekter bagerst
i bladet



Elektronisk nyhedsbrev

Få flere og hurtigere nyheder om forskning i bioenergi, brint og brændselsceller. Den trykte udgave af FiB bliver suppleret af et elektronisk nyhedsbrev. Klik ind på www.biopress.dk og få et gratis abonnement.

www.biopress.dk

Artikler

3. Metan fra skovene – mere mellem himmel og jord
6. Nyt elektrofilter fjerner effektivt partikler fra brændeovnen
7. Den perfekte brændeovn
8. Forureningen fra nye brændeovne halveret siden 2002
10. Brint kan reducere behovet for biomasse
12. Elektrolyseceller klarer fint det danske vejrlig
14. Næringsstoffer fra spildevand kan sætte skub i produktionen af energiafgrøder
17. Brintbranchen prøvekører spritny brintbil fra Hyundai
18. Måling af vandindholdet i flis – en udfordring
20. Kort nyt
28. Nu er brintbusserne sendt i udbud

Afsluttede projekter

22. På vej mod keramiske elektrolyseanlæg i 2020
23. Nye modeller til optimering af biogasproduktionen
24. Høst og håndtering af enggræs til biogasanlæg
25. Halm og roetoppe er det ideelle kraftfoder til biogasanlæg
26. Robuste HT-PEM brændselsceller til smart grid
26. Dansk-koreansk samarbejde om HT-PEM brændselsceller
27. Bakterier konverterer brint og kuldioxid til metangas
27. Opbevaring af brint under tryk og som fast stof

Metan fra skovene

- mere mellem himmel og jord

Nye forskningsresultater viser ganske overraskende, at både levende og døde planter kan udlede metangas – selv når der er ilt til stede. Meget tyder dog på, at det ikke er en faktor, som ændrer grundlæggende ved bioenergiens klimaprofil, men det er en faktor, som bør regnes med.

Af Claus Felby, Jesper Riis Christiansen, Niclas Scott Bentsen og Simon Skov

Metan er som drivhusgas cirka 30 gange kraftigere end CO₂, så selv små variationer i atmosfærens metanindhold har stor effekt på klimaet.

Det har længe været den grundlæggende forståelse, at metan dannes under anaerobe (iltfrie) forhold i afgrænsede miljøer. Det kan for eksempel være vådområder eller store koncentrationer af organisk materiale som gyllebeholdere eller flisbunker.

På det seneste er der imidlertid kommet nye forskningsresultater, som ganske overraskende viser, at både levende og døde planter, samt vednedbrydende svampe, også kan danne og udlede metan, selv når der er ilt til stede, det vil sige aerobt. Der er således nye elementer i metankredsløbet – noget som måske kan have en indflydelse på både klimamodeller og anvendelsen af især træ til bioenergi.

Metan fra træer

Det har været den gængse opfattelse, at jordbunden er den eneste aktør i forhold til metankredsløbet i skove, men opdagelsen af metanudslip fra levende og døde planter under aerobe forhold rokker ved denne forståelse. Kepler et al. (2006) viste således, at de kunne måle metanudslip fra både døde og

levende planter, selv når der var rigeligt med ilt til stede, og den største udledning skete fra levende planter.

I et nyligt studie blev det yderligere påvist, at der skete en frigivelse af metan fra skove, selvom jordbunden samlet set optog metan fra atmosfæren (Sundqvist et al. 2014), hvilket blev tilskrevet metanudledning fra træerne. Træer, der gror under våde og vandmættede forhold, kan fungere som skorstenene for metan, der er produceret i jorden (Gauci et al. 2010) og bidrage til udledningen fra et skovområde, ligesom det som nævnt også er påvist, at de levende træer i sig selv er kilder til metanudslip. Det er endnu uvist om træerne i sig selv producerer metan (Bruhn et al. 2012), eller om det sker i organismer, der

lever på overfladen af træet (Lenhart et al. 2015).

Disse resultater bekræfter, at der i større eller mindre grad også sker en frigivelse af metan fra levende og dødt træ, som modvirker den gavnlige klimaeffekt af metanoptaget i jordbunden. En effekt man må antage reduceres, når træerne fældes til for eksempel tømmer og energi, men størrelsen heraf er endnu ukendt.

Metan fra dødt ved

Mukhin and Voronin (2009) dokumenterede metanproduktion fra prøver af birketræ inficeret med tønder svamp, hvilket er blevet bekræftet i nylige feltstudier. For eksempel målte Covey et al. (2016) metankoncentration i et stort antal prøver af dødt ved fra fire forskellige vel-drænede lokaliteter i USA. Træprøverne repræsenterede forskellige arter, diametre og grader af nedbrydning. Undersøgelsen fandt, at metankoncentrationen i træprøverne var væsentlig højere end i den omgivne atmosfære. Derudover var koncentrationen stigende med stigende diameter, mens den var faldende med stigende nedbrydning.

Warner et al. (2017) undersøgte også metanudledning fra dødt ved og levende træer over en otte måneders periode i en vel-drænet

Der kan ikke forventes nogen særlig udledning af metan fra brænde, men der er ikke foretaget nogen målinger heraf.



Foto: Torben Skøtt/BioPress



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Træer, der gror under våde og vandmættede forhold, kan fungere som skorstene for metan, der er produceret i jorden (Gauci et al. 2010), og bidrage til udledningen fra et skovområde.

- ▶ skov i Maryland, USA. For dødt ved fandt de, at forholdsvis friske stykker træ udledte metan, mens mere nedbrudte stykker optog metan.

“.....vores foreløbige viden peger på, at metanudledning fra levende træer kun udgør en lille del af det samlede metanbudget for en skov.

Alle undersøgelserne fra USA rapporterer om meget store variationer i tid og rum i metankoncentrationen og -udledningen/optaget fra dødt ved. Det gør det vanskeligt at sætte entydige tal på dets potentielle bidrag til metanudledninger fra skove, men Warner et al. (2017) konkluderer, at bidraget fra dødt ved alene er marginalt; omkring 1 procent af den samlede udveksling mellem skov og atmosfære. Alle tre undersøgelser beskrevet ovenfor understøtter dog den samme historie; så længe det døde ved er nogenlunde friskt og intakt, kan der dannes metan.

Metan fra svampe

Det er også fundet, at helt almindelige vednedbrydende svampe som

østershat og svovlporesvamp udskiller metan under deres vækst. Der er en direkte korrelation mellem deres metaboliske aktivitet og den mængde metan, de udskiller (Keppler et al. 2006). Den nøjagtige biokemiske mekanisme er ikke kendt, og forsøg på at bestemme denne i detaljer har indtil nu ikke været succesfulde. Resultaterne kan synes overraskende, men når man tænker på, at noget af det første liv var metanproducerende svovlbakterier, er det måske ikke så mærkeligt, at evnen til at producere metan er blevet bevaret gennem evolutionen.

Metan fra skove

Det er vigtigt, at man ikke kun betragter enkeltkilder til udledning eller optag af metan, men hele økosystemer, og skovene spiller en stor rolle i det globale metankredsløb. Generelt tilskrives skovene et optag af metan fra atmosfæren, og vores foreløbige viden peger på, at metanudledning fra levende træer kun udgør en lille del af det samlede metanbudget for en skov, kun mellem 1-6 procent af den mængde metan der optages i jorden (Pitz and Megonigal 2017).

I visse skove kan metanudledning fra levende træer dog være på niveau med metanoptaget i jorden (Covey et al. 2012). Skovdrift, og den måde den udføres på, vil med stor sandsynlighed være en vigtigere faktor for metanbalancen end hidtil antaget, men vores viden på dette område er sparsom.

“Studier i Sverige viser, at renafdrift kombineret med høst af rødder fører til, at skoven udleder metan til atmosfæren.

Studier i Sverige viser, at renafdrift kombineret med høst af rødder fører til, at skoven udleder metan til atmosfæren (Sundqvist et al. 2014). Jordbunden i de fældede områder bliver markant vådere på grund af den manglende fordampning fra træerne, hvorefter aktiviteten af metanproducerende mikroorganismer stiger og kan føre til en nettoudledning af metan. Dog er effekten kortvarig, da ny vegetation, vil øge fordampningen, og inden for et par år udtørre jordbunden nok til at den igen har et nettooptag af metan fra



Foto: Torben Skott/BioPress

Når flis lægges i stak vil nedbrydningen straks gå i gang. Omsætningen af de lettest nedbrydelige bestanddele i flisen vil hurtigt få temperaturen til at stige i stakkens midte samtidig med, at iltindholdet falder. Undersøgelser har vist varierende, men begrænsede forekomster af metan i denne iltfrie zone i flisstakke.

atmosfæren (Sundqvist et al. 2014). Fordelingen af våde og tørre områder i jordbunden før, under og efter driftsindgreb i skoven vil derfor være bestemmende for hele områdets metanbalance (Christiansen et al. 2012).

Metan fra energitræ

Der er to væsentlige produkter til bioenergi; brænde og flis. Brænde bliver typisk savet og kløvet forholdsvis hurtigt efter træet er fældet. Derefter tørrer veddet, så den biologiske nedbrydning går i stå. Der kan derfor ikke forventes nogen særlig udledning af metan fra brænde, men der er ikke foretaget nogen målinger heraf.

Flis, der hugges og brændes umiddelbart efter hugning, bliver omsat direkte til energi og CO₂ og danner formentlig ikke metan.

Typisk lagres en stor del af flisen inden brug. Hugges flisen om sommeren og bruges om vinteren, kommer den til at ligge i stak. I flisstakke sker der en biologisk nedbrydning, som afhænger af en lang række faktorer som flistype, partikelstørrelse, fugt, stakhøjde/bredde, lagringstid (Skov et al. 2017).

Når flis lægges i stak vil nedbrydningen straks gå i gang. Omsætningen af de lettest nedbrydelige bestanddele i flisen vil hurtigt få temperaturen til at stige i stakkens midte samtidig med, at iltindholdet falder. Undersøgelser har vist varierende, men begrænsede forekomster af metan i denne iltfrie zone i flisstakke.

Flere forhold gør sig gældende i forhold til produktionen og udslippet af metan:

“ Bioenergi regnes for CO₂-neutral i det nationale klimaregnskab. Det er der mange gode grunde til, men det betyder ikke, at bioenergi generelt er CO₂-neutral. ”

1. Den generelle opfattelse er, at produktionen af metan er knyttet til iltfattige eller iltfrie områder, og hvis de ikke dannes, betragtes metanproduktionen som ubetydelig (Jamsen et al. 2015). Om der opstår iltfrie områder i stakken afhænger blandt andet af omsætningen og ventilationen.

2. Den iltfattige/-fri kerne, der eventuelt dannes er omgivet af en aerob zone i stakken. Det metan, der eventuelt dannes i kernen, vil oftest blive omsat til CO₂ i den biologisk aktive iltede zone før det undslipper stakken (Whittaker et al. 2016).
3. Selv i store stakke er den iltfrie zone begrænset i tid. Den biologiske aktivitet vil være højest i lagringstidens begyndelse. Efter de første uger med høj biologisk aktivitet og stort iltforbrug vil aktiviteten aftage. Hvis der opstår en iltfri zone i de første uger af lagringen, vil den blive iltet igen som følge af ventilation i stakken (Ferrero et al. 2011). Ferrero finder en metankoncentration midt i stakken på 50-60 ppm(vol) i den første korte periode af lagringen, hvor iltkoncentrationen var cirka 10 ppm(vol). Efter cirka 10 dage steg iltkoncentrationen til 21 ppm(vol) eller blot 0,00001 procent af den atmosfæriske iltkoncentration, hvorefter metankoncentrationen faldt til omkring nul. Den iltfrie zone øges i omfang og tid ved komprimering af stakken.

► Bioenergi og CO₂-neutralitet

Som nævnt i FiB (Skøtt 2017), har debatten om bioenergiens CO₂-neutralitet været heftig de seneste år. Bioenergi regnes for CO₂-neutral i det nationale klimaregnskab. Det er der mange gode grunde til, men det betyder ikke, at bioenergi generelt er CO₂-neutral.

En række forudsætninger skal være opfyldt. De væsentligste er, at høst af biomasse til energi ikke må medføre en permanent nedgang i økosystemernes samlede kulstoflager i levende og død biomasse samt i jord. En midlertidig nedgang i kulstoflageret er foreneligt med CO₂-neutraliteten, så længe kulstoflageret genopbygges inden for en rimelig tidshorisont. Derfor er en anden væsentlig forudsætning for CO₂-neutralitet, at høst af biomasse til energi ikke nedsætter økosystemernes produktivitet. Mange steder kan disse forudsætninger opfyldes, også ved øget produktion af bioenergi. Det er for eksempel vist for de danske skove (Graudal et al. 2014).

Udslip af metan fra levende træer og dødt ved er formentlig ikke af en størrelse som grundlæggende ændrer ved bioenergiens klimaprofil, men ud fra de seneste forskningsresultater er det formentlig en faktor, som skal regnes med. Alt efter dyrkningsmetoder og anvendelsen af træ, vil en udledning af metan fra træerne ændre tidshorisonterne for hvor hurtigt CO₂-neutralitet opnås. Bliver metanbalancen ved en given skovdyrkningspraksis forskubbet imod mere/mindre udledning af metan, vil tiden til CO₂-neutralitet blive henholdsvis længere/kortere. Set ud fra en bioenergi synsvinkel giver dette mulighed for yderligere at optimere anvendelsen af træ til bioenergi. Men der er behov for mere viden om og forsøg med aerob produktion af metan, inden der kan siges mere om betydningen heraf.

Claus Felby, Jesper Riis Christiansen, Niclas Scott Bentsen og Simon Skov er alle ansat som forskere ved Københavns Universitet.

Referencelisten kan hentes [her](#).

Nyt elektrofilter fjerner effektivt partikler fra brændeovne

Det har været forsøg før, men nu ser det ud til at lykkes: Et filter, som kan fjerne 96 procent af partiklerne i røgen fra en brændeovn, kommer på markedet sidst på året. Prisen er endnu ukendt, men det bliver næppe helt billigt.

Det er virksomheden PHX innovation, der har brugt tre år på at udvikle et elektrofilter, som kan fjerne langt hovedparten af de skadelige partikler i røgen fra brændefyring. I første omgang er filteret tiltænkt brændeovne, men på sigt vil det også blive udviklet til kedler, som anvender fast brændsel.

– Sidst i marts vil vi præsentere filteret på en messe i Tyskland, og i løbet af efteråret vil det blive markedsført af vores søsterselskab Exodraft. Det fortalte projektleder Per Holm Hansen fra PHX innovation på et seminar om brændefyring hos Teknologisk Institut i Aarhus.

– Vi kan i gennemsnit fjerne 96 procent af de kondenserbare partikler. Når det handler om de helt små partikler, kniber det lidt, men dem er der heldigvis ikke mange af i brænderøg, forklarede Per Holm Hansen.

Hvis man ser på den samlede masse af partikler, så er det 80 pro-

cent, der bliver opsamlet i det elektrostatiske filter.

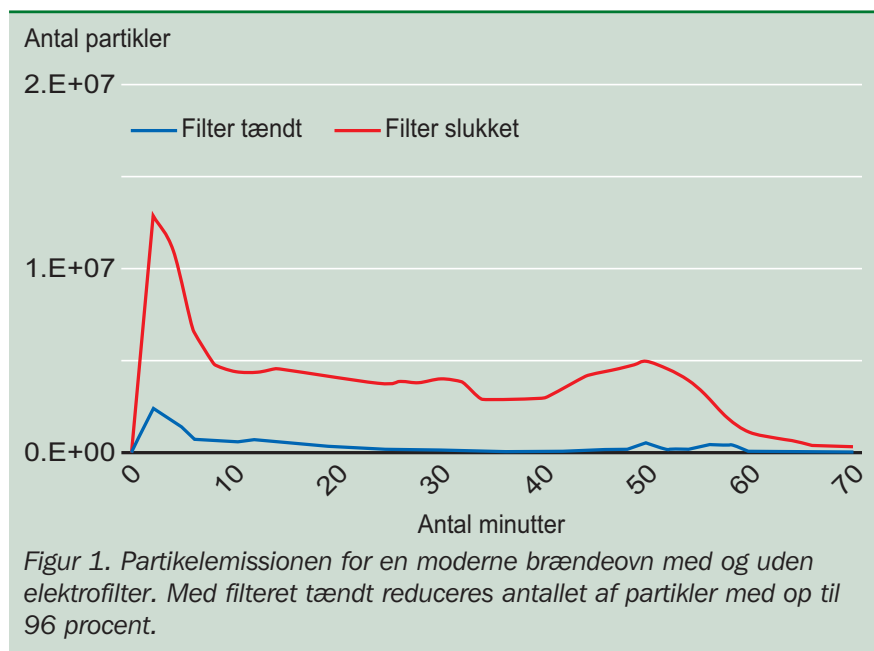
PHX innovation er et lille firma med fire ansatte, men man har en række samarbejdspartnere, som har været med til at udvikle filteret, ligesom man har et tæt samarbejde med DTU.

Sammenlagt har firmaet gennemført 150 test med det nye filter, og ifølge Per Holm Hansen gør man meget ud af at dokumentere, at driften er stabil og vedligeholdelsen kan holdes på et minimum.

Ved en muret skorsten skal elektrofilteret monteres oven på skorstenen, men ved stål kommer det til at erstatte den yderste meter af skorstenen.

Den øverste del består af en røgsuger, som sikrer et konstant træk i skorstenen, og som holder filteret rent. Det sidste er vigtigt, for hvis filteret bliver beskidt falder effektiviteten. Derfor har man udover røgsuger valgt også at indbygge en automatisk rensningsmekanisme.

Prisen på elektrofilteret er endnu ukendt, men det bliver næppe nogen helt billig løsning. En god røgsuger kan let koste 5.000- 10.000 kroner, og dertil kommer prisen på selve filteret. TS



Den perfekte brændeovn

På laboratoriet hos Teknologisk Institut står der en brændeovn, som både er mere effektiv og med langt færre emissioner af skadelige stoffer end gennemsnittet af nye ovne på markedet. Ovnens skal fungere som inspiration for fabrikanter, der skal i gang med at udforme fremtidens brændeovne.

Af Torben Skøtt

På et nyligt afholdt seminar om brændefyring på Teknologisk Institut fik deltagerne lejlighed til at se et bud på fremtidens brændeovn, hvor udslippet af skadelige stoffer er reduceret med over 60 procent, samtidig med at virkningsgraden er hævet med cirka fem procent i forhold til mange af de ovne, der i dag er på markedet.

Ovnens er udviklet i et fælles brancheprojekt med deltagelse af Teknologisk Institut, DAPO der er en sammenslutningen af brændeovnsproducenter, og Skamol som producerer ildfaste plader. Arbejdet er blevet støttet af Miljøstyrelsens MUDP-pulje, da projektets overordnede mål var at reducere udledning af "black carbon" (sod) fra brændefyring.

Forud for design af den nye ovn blev der gennemført en målekampagne, hvor der blev målt virkningsgrad og emissioner fra otte, nyere brændeovne – alle produceret af fabrikanter, der er med i DAPO.

Målet var, at den nye ovn skulle være bedre end gennemsnittet af de otte ovne på markedet, men det viste sig, at den ikke bare blev bedre men markant bedre. De i alt ni ovne blev bedømt på fem parametre i fem fyringssituationer – i alt 225 situationer. Kun 14 gange blev den nydesignede ovn overgået af én af de andre ovne. Det svarer til en succesrate på 94 procent. I gennemsnit blev emissionerne reduceret med 63 procent, mens virkningsgraden blev hævet med fem procent.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Seniorkonsulent og projektleder hos Teknologisk Institut, René Lyngsø Hvidberg, ved ovnen, der er udviklet i samarbejde med DAPO og Skamol.

17 anbefalinger

Projektet er blandt andet mundet ud i, at partnerne i fællesskab har udarbejdet en liste med 17 retningslinjer, som fabrikanter bør være opmærksomme på. Det fortalte seniorkonsulent og projektleder hos Teknologisk Institut, René Lyngsø Hvidberg, om på seminariet om brændefyring, der blev afholdt den 6. marts i Aarhus.

Han fremhævede tre områder, som fabrikanterne især skal være opmærksomme på:

1. Brændkammeret skal dimensioneres, så det passer til ydelsen. Hvis brændkammeret er for stort, er det svært at opnå en tilstrækkelig høj temperatur, og så ryger en del af gasserne uforbrændte op gennem skorstenen.
2. Det er vigtigt med en stabil og jævn stigende temperaturkurve til man når op på over 500 grader, målt i periferien af bålet. Når temperaturen falder igen, stiger emissionerne. Ved en kraftig temperaturstigning over en kort periode vil der ikke være tilstrækkeligt med ilt til at sikre en ren forbrænding – heller ikke selv om temperaturen er over de anbefalede 500 grader.
3. Korrekt tilførsel af luft er utrolig vigtig for at reducere udslippet af skadelige stoffer. Undgå tilførsel af primær luft op gennem glødelaget. Sekundær luft bør tilføres direkte ind i brændkammeret – ikke gennem et langt kanalsystem. Tertiær luft kan med fordel tilføres i flere forskellige niveauer.

Rapporten om udvikling af den nye ovn "LowCarbon Brændkammer" kan downloades fra www2.mst.dk.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Rundvisning på laboratoriet på Teknologisk Institut i Aarhus i forbindelse med et seminar om brændefyring den 6. marts.

Forureningen fra nye brændeovne halveret siden 2002

Test på Teknologisk Institut viser, at udslippet af partikler fra brændeovne, der sælges i Danmark, er blevet mere end halveret siden 2002. Det er støt og roligt gået den rigtige vej, men man skal være opmærksom på, at ude i villakvarterer er udslippet af partikler højere end typetesten for de pågældende ovne indikerer.

Af Torben Skøtt

De brændeovne, der sælges i Danmark, bliver bedre og bedre. Det viser typetest, som Teknologisk Institut har udarbejdet siden 2002. I starten lå udslippet af partikler i gennemsnit på over 4 gram partikler per kg brænde (tørstof). I dag – 16 år senere – er det gennemsnitlige udslip reduceret til under 2 gram partikler per kg brænde (se figur 1). Det fortalte seniorspecialist ved Teknologisk Institut, Jes Sig Andersen,

om på et nyligt afholdt seminar om brændefyring.

– Vi har oplevet et konstant fald i udslippet af partikler, så det går den rigtige vej, sagde Jes Sig Andersen.

Ifølge brændeovnsbekendtgørelsen var det tidligere tilladt at sælge ovne med et partikeludslip på op til 10 gram, men i dag er kravet 4 gram, og hvis ovnen skal Svane-mærkes, må den ikke udlede mere end 2 gram partikler per kg brænde.

Andre lande, som eksempelvis Norge, har bibeholdt kravet om 10

gram partikler per kg brænde, og det er baggrunden for, at den seneste statistik fra Teknologisk Institut viser indtil flere ovne med et udslip på over 4 gram partikler.

– Det er udenlandske fabrikker, som får testet deres ovne hos os for at kunne sælge dem i Norge. Det er ovne, som aldrig vil få adgang til det danske marked, fortalte Jes Sig Andersen på seminariet, der blev afholdt på Teknologisk Institut i Aarhus.

Typetest og felttest

Forureningen fra brændefyring trækker jævnligt store overskrifter i medierne, og det er ikke længe siden ugebladet Ingeniøren bragte en artikel med overskriften “Brændeovne forurener fire gange mere, end de er godkendt til”.

Baggrunden for artiklen er en undersøgelse udført som led i det fælleseuropæiske projekt BeReal, hvor man har målt på 13 brændeovne ude hos forbrugerne og sammenlignet tallene med de typetest, som ovnene var udstyret med. Resultaterne viser, at hos forbrugerne er emissionerne højere end det fremgår af typetesten, men ifølge Jes Sig Andersen er der en naturlig forklaring på den forskel:

– Typetest og feltmålinger er to forskellige ting. Typetest foregår under optimale forhold, hvor emissionerne bliver målt i en halv time under nominal last – det vil sige der hvor ovnen brænder bedst. Det er

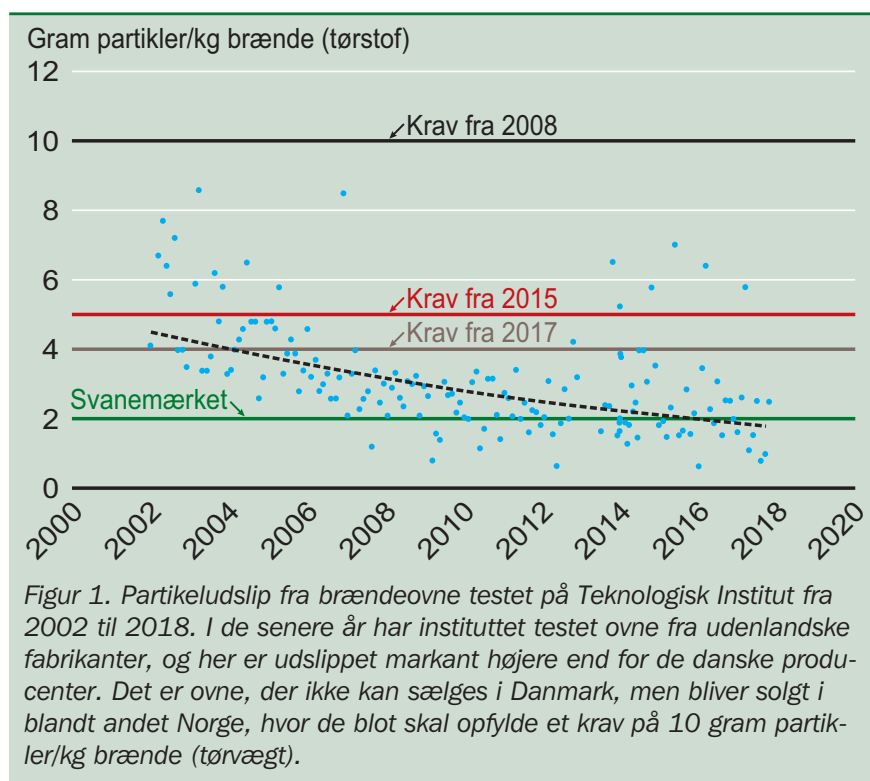




Foto: HWAM

Moderne brændeovne udleder under halvdelen af den mængde partikler, som blev udledt for 16 år siden. Samtidig er de nye ovne langt lettere at betjene, og enkelte fabrikanter som HWAM har valgt at udstyre deres ovne med "auto-pilot", hvilket minimerer risikoen for fejlbetjening yderligere.

noget andet end feltmålinger, hvor der både bliver målt emissioner under optænding, ved nominel last og når bålet er ved at dø ud. Det vil typisk være en periode på 45 minutter.

Typetesten er altså et øjeblikksbillede af den optimale forbrænding. Den kan bruges til at sammenligne de forskellige ovne på markedet, men den fortæller ikke hvor mange skadelige stoffer, der ryger op gennem skorstenen ude i villakvarterer. Her giver undersøgelsen fra Be-Real et mere retvisende billede af forholdene.

Jes Sig Andersen har været med i BeReal-projektet og han vurderer, at resultaterne på sigt vil føre til, at man får ændret typetesten, så den i højere grad afspejler forholdene hos forbrugeren.

Men indtil videre skal man altså være opmærksom på, at tal fra typetesten skal ganges med en faktor, hvis man skal have et realistisk billede af emissionerne fra brændeovne. Det samme gælder, når bilproducenter opgiver, hvor langt en bil kan køre på en liter benzin, eller hvor langt man kan køre i en elbil. Her skal der ligeledes ganges med en faktor, hvis det skal være realistisk.

Lettere at bruge en ny ovn

I BeReal-projektet har man dels sammenlignet målinger hos forbrugere med typetest, dels med målinger i laboratoriet, hvor man har fyret på samme måde som hos forbrugeren. I sidstnævnte tilfælde er der begge steder blevet målt under både optænding, nominel last, lav last og afkøling. I alle tilfælde har der været tale om nyere ovne.

Resultaterne viser, at der ikke er den store forskel på målinger hos forbrugere og i laboratoriet, når der vel at mærke er tale om samme ovn og samme prøvningsmetode. Alt tyder således på, at risikoen for fejlbetjening i nyere brændeovne er minimal. Små, velisolerede brændkamre sætter en naturlig begrænsning for, hvor meget brænde der kan fyres ind ad gangen, og med lufttilførslen samlet i et enkelt håndtag er det blevet lettere for forbrugeren at styre forbrændingen. Enkelte fabrikanter er gået et skridt videre og har udstyret deres ovne med "autopilot", hvilket minimerer risikoen for fejlbetjening yderligere.

Tidligere feltmålinger i Gundsø-magle og Vindinge i henholdsvis

2004 og 2005 viste meget store udsving, selv for det samme hus, hvor man målte over flere dage. I Vindige havde de ældste ovne de laveste udslip, hvilket peger på, at emissionerne primært hang sammen med brugeren og det brænde, der blev brugt.

Teknologisk Institut og Force Technology har for nylig udført et projekt for Miljøstyrelsen, hvor Force Technology har målt på ni forskellige ovne hos forbrugere og sammenlignet resultaterne med målinger i laboratoriet hos Teknologisk Institut. Den blev anvendt en norsk målemetode og orbrugeren fik i alle tilfælde besked på at fyre, som de plejede og med det brænde, de var vant til at bruge.

Projektet bliver først afrapporteret i løbet af foråret, men de foreløbige resultater viser, at der ikke er den store forskel på målinger i laboratoriet og de emissioner, der kan registreres hos brugeren. Forudsætningen er, at der er tale om nyere ovne og der bliver brugt samme prøvningsmetode.

Læs mere om BeReal-projektet på www.bereal-project.eu.

Brint kan reducere behovet for biomasse



Foto: Torben Skøtt/BioPress

– men brint gør det ikke alene

Af Torben Skøtt

Biomasse er fortsat den form for vedvarende energi, der fylder mest i energistatistikken. I 2016 lå biomasseforbruget på 148 PJ, hvilket er mere end tre gange så meget som forbruget af vindmøllestrøm, der var på 46 PJ i et år, hvor det samlede danske energiforbrug var på 743 PJ.

Mange betragter biomasse som en vigtig brik i fremtidens bæredygtige energisystem, mens andre er mere kritiske og stiller spørgsmålstegn ved, om biomasse i det hele taget kan betragtes som bæredygtigt og CO₂-neutralt. Det sidste gælder blandt andet for Enhedslisten, der mener, vi skal reducere anvendelsen af biomasse til en fjerdedel i forhold til Ingeniørforeningens energiplaner, og vi skal helt væk fra eksempelvis at bruge biogas, der er fremstillet på basis af landbrugets gylle.

Det kom frem på en nylig afholdt konference på Christiansborg, arrangeret af Ingeniørforeningen og Enhedslisten. Overskriften var "Brint frem for biomasse i energisystemet?". Her fik både Enhedslisten og en række eksperter mulighed for at komme med deres bud på, hvilken rolle brint bør spille i fremtidens energisystem.

Fra brint til metangas

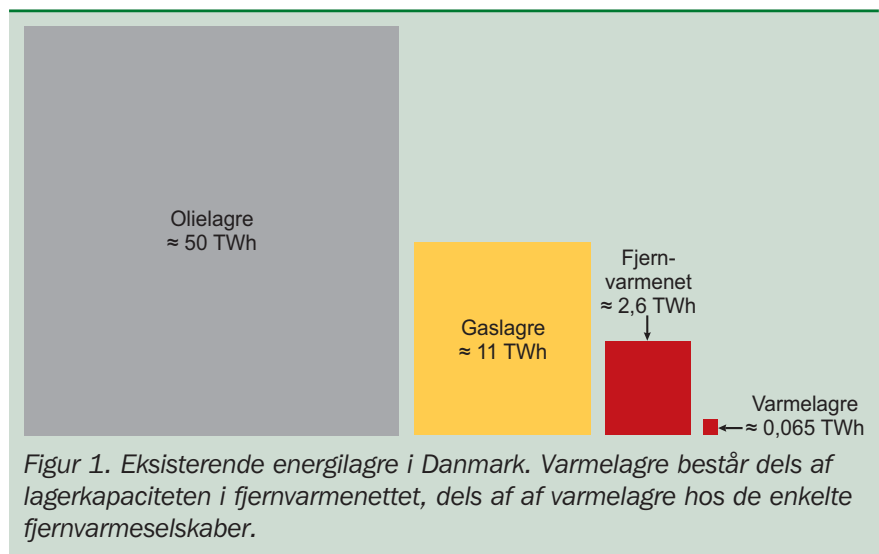
En af oplægsholderne var professor i energiplanlægning ved Aalborg Universitet, Henrik Lund. Han lagde vægt på, at anvendelsen af biomasse skal være bæredygtig, og hvis det skal lykkes, skal vi bruge brint til at strække biomasseressourcerne mest muligt.

– Vi kommer til at bruge masser af brint, men det skal ikke være brint ret længe. Vi skal koble det sammen med kulstof, så vi på den måde kan øge mængden af metangas og flydende brændstof, lød det fra Henrik Lund.

En af de helt store fordele ved den model er, at den giver mulig-

hed for at "lagre" el på en billig og effektiv måde. El kan omdannes til brint, og brint kan sammen med kulstof fra blandt andet CO₂ (C = kulstof) omdannes til for eksempel metangas og flydende brændstoffer som metanol. Begge dele kan lagres og bruges til en lang række formål, herunder transport, el og varme.

Til en start vil det være oplagt at udnytte de cirka 40 procent af biogas, som består af CO₂, men på den lange bane kan der også blive tale om at bruge kulstof fra kraftværker og andre anlæg, der udleder CO₂. Her er der vel at mærke tale om at recirkulere kulstof i stedet for



at lagre det i undergrunden, som mange har været fortalere for.

Store forskelle på energilagre

Langt det største energilager i Danmark er de mange olietanke, der tilsammen kan rumme omkring 50 TWh. Derefter kommer naturgasnettet, der kan rumme 11 TWh efterfulgt af fjernvarmenettet, der har en kapacitet på 2,6 TWh (se figur 1). Batterilagre er i den sammenhæng helt ubetydelige, og selv hvis vi skifter alle vores biler ud med elbiler, er kapaciteten yderst begrænset.

Ellagre i form af blandt andet batterier er ifølge Henrik Lund den dyreste måde at lagre energi på. Det er cirka 100 dyrere at lagre el end at lagre varme. På samme måde er det cirka 10 gange dyrere at lagre varme end gas, og det er 10 gange dyrere at lagre gas end flydende brændstof.

“Brint kan på sigt komme tæt på prisen på varmelagring, måske endda billigere.

– Brint kan på sigt komme tæt på prisen på varmelagring, måske endda billigere. Det kommer ikke på niveau med naturgas, men det går i den retning, fortalte Henrik Lund.

Han understregede, at hvis prisen på brintlagre skal ned i nærheden af prisen på varmelagre, vil det kræve, at brinten bliver lagret i underjordiske kaverner på samme måde, som det sker med naturgas. Kapaciteten i sådanne lagre er enorm. Danmarks to gaslagre i hen-



Der er en god og en dårlig måde at elektrificere på. Den gode måde er at få elsektoren til at spille sammen med gas- og varmesektoren. Den dårlige måde er at lade elsektoren overtage store dele af gas- og varmesektoren og nedprioritere energibesparelser.

holdsvis Himmerland og på Sjælland kan således rumme 25 procent af årsforbruget af naturgas i både Danmark og Sverige.

– Der er en kæmpe prisforskel på små og store lagre – især når det gælder lagring af varme og gas. Den dyreste måde at lagre energi på er Teslas batteriløsning til individuelle boliger. Vi skal tænke i fælles løsninger, pointerede Henrik Lund.

Et smart energisystem

Henrik Lunds udgangspunkt er Ingeniørforeningens energiplaner, hvor man lægger vægt på, at de enkelte sektorer skal hjælpe hinanden i det han betegner som et “smart energisystem”.

– Alle sektorer skal hjælpe hinanden, og vi skal bruge de energilagre, vi har i dag – ellers bliver det alt for dyrt, påpegede Henrik Lund, der advarede mod at give elsektoren for meget plads:

– Der er en god og en dårlig måde at elektrificere på. Den gode måde er at få elsektoren til at spille sammen med gas- og varmesektoren samtidig med, at vi har fokus på energibesparelser. Den dårlige måde er at lade elsektoren overtage store dele af gas- og varmesektoren og nedprioritere energibesparelser. Det vil kræve kæmpe investeringer i vindmøller og ellagre, og det vil lægge et stort pres biomasseresourcerne.

Ifølge Henrik Lund er spidsbelastningen på naturgasnettet og varmenettet markant større end for elnettet (se figur 2). Hvis den kapacitet reduceres ved at en større del af forbruget flyttes over på el, vil der være behov for en voldsom udbygning af elnettet.

– Det vil koste en formue, så der er alt mulig grund til at satse på det smarte energisystem, hvor de forskellige sektorer spiller sammen, og hvor brint kan være med til at konvertere el til gas og flydende brændstoffer, sluttede Henrik Lund. ■

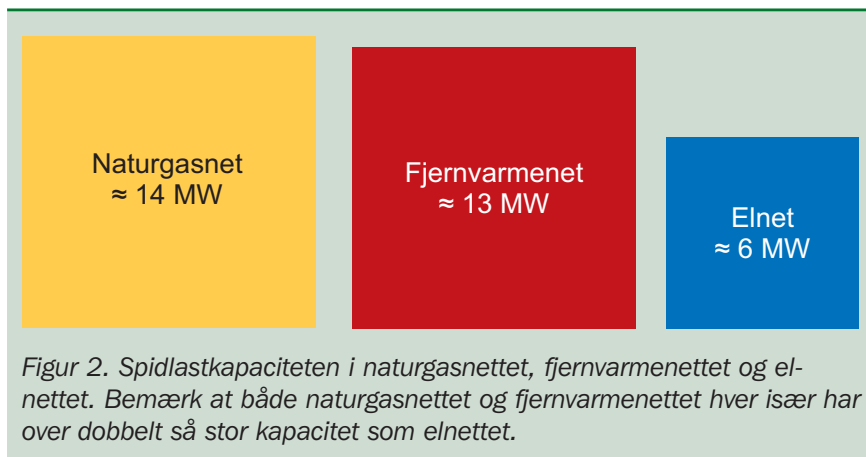




Foto: pixabay.com

Elektrolyseceller klarer fint det danske vejrlig

Haldor Topsøes elektrolyseceller kan fint klare det danske vejrlig, hvor elproduktionen svinger, som vinden blæser. Det viser et netop afsluttet ForskEL-projekt, som DTU Energi har været tovholder for.

Af Kasper Skovse

Det er en kæmpe udfordring at få elproduktionen fra de mange vindmøller og solcelleanlæg til at passe med forbruget af el, og det er flere gange sket, at elprisen er blevet negativ, så man har måttet stoppe flere af møllerne for at skabe balance mellem udbud og efterspørgsel.

Vi får altså mere og mere brug for at kunne lagre el, og en af de mere effektive metoder går ud på at konvertere el til brint, der efterfølgende kan omdannes til syntetisk naturgas eller lagres som ren brint.

Haldor Topsøe og DTU arbejder tæt sammen om at udvikle et sådant system, baseret på Haldor Topsøe SOEC-celler, og i samarbejde med Aalborg Universitet har man netop testet, hvordan teknologien klarer sig under realistiske forhold. Det er sket som et led i forskningsprojektet "Towards Solid Oxide Electrolysis Plants in 2020", der er gennemført med støtte fra det nu lukkede ForskEL-program.

– Vi taler altid om fordelene ved at benytte elektrolyseceller til at konvertere overskydende energi fra vedvarende energikilder som vindmøller til gas, og nu gjorde vi det

Fakta om SOEC

Med keramiske elektrolyseceller (SOEC) får man mulighed for at konvertere el til kemisk bundet energi i form af brint. Det sker ved at spalte vandmolekyler (H_2O) fra vanddamp til brint (H_2) og ilt (O_2).

En keramisk elektrolysecelle (SOEC) er i princippet det samme som en keramisk brændselscelle (SOFC), hvor processen blot er vendt om, så el bruges til at fremstille brint, i stedet for at brint bruges til at producere el.

Teknologien kan også bruges til at producere kulilte (CO) ud fra kuldioxid (CO_2). Både brint og kulilte bruges i den kemiske industri og kan bruges til at producere bæredygtig diesel og benzin.

i en rigtig topmoderne stak, siger seniorforsker Ming Chen, DTU Energi.

Vinddata fra Bornholm

Det er vinddata fra en Bornholmsk vindmøllepark i 2013, der er blevet brugt til at simulere, hvordan et elektrolyseanlæg klarer sig, når det udsættes for realistiske forhold, hvor elproduktionen varierer, som vinden blæser.

– Vi havde adgang til alle vinddata anno 2013 fra den bornholmske vindmøllepark, opdelt i fem minutters intervaller. Det gav os mulighed for at skabe nogle meget præcise simuleringer på vores celler og stakke baseret på virkelighedstro data, forklarer seniorforsker Ming Chen og uddyber:

– Det var ligesom den virkelige verden, bortset fra at vi skalerede vinddataene ned med en faktor 1.000 for at give mulighed for at teste en enkelt stak i stedet for at skulle etablere en elektrolysefacilitet i fuld størrelse.

To scenarier

ForskEL-teamet skabte to forskellige testscenarier baseret på vinddata fra december 2013, da december har mange vindudsving, som er meget hårde for cellerne og stakkene. Det gav forskerne mulighed for at teste en stak på 7,5 kW under de værste tænkelige arbejdsvilkår.

Det første scenarie simulerede en balanceret tilførsel af gas, mens det andet simulerede variable forhold, hvor gastilførslen varierede efter behov. I alt blev stakken, der bestod af 75 forbundne elektrolyseceller, testet i 2.000 timer. I begge scenarier opførte stakkene sig ens, og begge var i stand til at håndtere strømmen.

– Vi har nu med succes demonstreret, at de nyeste celle- og stakdesigns er robuste, og hvordan de kan klare dynamisk drift under fluktuerende tilførsel af damp og/eller

Fakta om projektet

“Towards Solid Oxide Electrolysis Plants in 2020” er støttet af ForskEL-programmet.

I projektet har DTU Energi udviklet og optimeret elektrolysecellerne, som Haldor Topsøe har produceret. DTU Elektro har simuleret, hvordan elektrolyseanlægget bliver påvirket af det eksisterende elnet og har derudover udviklet en strømforsyning med nyt design og en højere effektivitet. Aalborg Universitet har udviklet en strategi, der beskriver, hvordan elektrolyseteknologien kan implementeres i det fremtidige danske energisystem.

Den afsluttende rapport fra projektet kan downloades fra www.energiforskning.dk.

forskellige strømbelastninger. Vi mangler stadig at teste dem under virkelige forhold i fuld skala, hvor andre variable vil have indflydelse, men vi har bevist, at teknologien virker og er robust, forklarer forskningsingeniør hos Haldor Topsøe A/S, Peter Blennow.

Ming Chen er enig:

– Cellerne og stakken fungerede upåklageligt under hårde driftsforhold i begge scenarier. Det betyder, at cellerne og stakkene kan installeres og bruges til energilagring i stor skala uden problemer, fortæller Ming Chen.

Forskerne fra DTU Energi arbejder nu på at forbedre elektrolysecellerne yderligere.

Kasper Haagen Skovse er kommunikationsmedarbejder hos DTU Energi, e-mail kaspsk@dtu.dk.

IEA undersøger metanudslip fra biogasanlæg

Det Internationale Energiagentur (IEA) har i en ny rapport undersøgt metanudslippet fra biogasanlæg. Resultaterne minder på mange måder om erfaringerne fra danske anlæg.

Biogasanlæg er en både effektiv og billig metode til at reducere klimabelastningen, men biogas er også en meget potent drivhusgas. Derfor er det naturligvis vigtigt, at anlæggene ikke utilsigtet kommer til at slippe metangas ud i atmosfæren. Det er mere end 30 gange værre end CO₂ og gaslækager kan medføre et betydeligt økonomisk tab for biogasanlæggene.

I Danmark er der foretaget undersøgelser af metanudslip fra biogasanlæg siden 2013, og erfaringer herfra viser, at det ofte er helt banale problemer som defekte vandlåse og utætte pakninger, der er årsagen til metanudslip. I langt de fleste tilfælde har der været tale om minimale udslip, men nogle få, graverende fejl har været med til at trække gennemsnittet op. Erfaringerne viser dog, at fejlene hurtigt bliver rettet, når anlæggene bliver opmærksomme på problemet.

IEA-rapporten tegner et billede af problemet, som på mange måder minder om de danske erfaringer: Nogle få anlæg trækker gennemsnittet op, og nogle bestemte anlægstyper er særlig udsatte.

IEA angiver, at nogle af de største metanudslip stammer fra lagertanke med ingen eller mangelfuld overdækning, gasmotor og sikkerhedsventiler. Opgraderingsanlæg kan ligeledes give anledning til udslip, og her er det især nogle bestemte

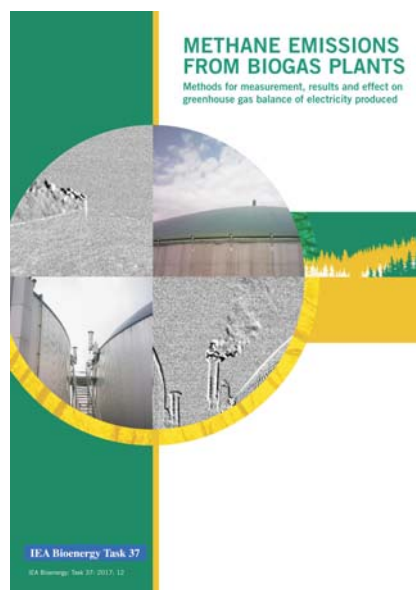
anlægstyper, som tegner sig for de store udslip.

IEA understreger, at det er meget vanskeligt at give generelle, gennemsnitlige tal for de enkelte komponenter eller for det samlede anlæg ud fra anlægstype. Det skyldes blandt andet, at:

- der i litteraturen angives forskellige metoder til opgørelse af metantab fra biogasanlæg
- der er tale meget individuelle anlæg, så en generalisering skal indeholde en nøje klassificering ud fra anlægstype og driftsstrategi
- emissionerne skal ses i sammenhæng med andre faktorer, der påvirker udslippet af metangas.

Rapporten fra IEA konkluderer, at der endnu ikke findes tilstrækkeligt med data til en generel vurdering af sektoren, men der er klare tendenser, der indikerer, hvilke komponenter der skal være særlig fokus på, og hvilke foranstaltninger der kan være nyttige for at minimere udslippet af metan. TS

Rapporten “Methane emissions from biogas plants” kan downloades fra www.ieabioenergy.com.





Næringsstoffer fra spildevand kan sætte skub i produktionen af energiafgrøder

Næringsstoffer i spildevand udgør en betydelig ressource, som kan recirkuleres via produktion af energiafgrøder. I stedet for at “bortskaffe” næringsstofferne i et rensningsanlæg, kan delvist rensset spildevand med fordel bruges til at gøde afgrøder som energipil og græs.

Danmark er langt fremme med rensning af spildevand. Rensningsanlægene er effektive, men medfører også store anlægsinvesteringer og løbende driftsomkostninger. Desuden tabes en væsentlig del af kvælstoffet ved rensning i traditionelle rensningsanlæg, da det omdannes til frit kvælstof, som forsvinder op i atmosfæren.

Som eksempel forsvinder cirka 370 tons kvælstof om året fra Egå Rensningsanlæg ved Aarhus, der rensrer spildevand fra omkring 95.000 personer. Det er cirka 90 procent af kvælstoffet, der på den måde går tabt.

Der er således tale om et betydeligt resourcespild, da der er brug for kvælstof til produktion af planter i landbrug og gartneri, og da fremstilling af kunstgødning kræver et betydelig energiinput. Ydermere bortledes andre vigtige næringsstof-

fer med det rensede spildevand – en ressource, som også kunne gøre gavn i planteproduktionen.

Spildevand kan udvandes

Som alternativ til fuldstændig rensning af spildevandet i rensningsanlæg, kan det være en fordel at udbringe delvist rensset spildevand i afgrøder, hvorved både vand og

næringsstoffer udnyttes bedre. Hvis der er tale om afgrøder, der bruges til energiformål, vil der ikke være nogen risici for fødevarer sikkerheden.

En oplagt mulighed er at udvande spildevandet i energipil, som ofte vil drage nytte af vandingseffekten, og som er god til at opsamle næringsstoffer. Biomassen fra pil kan for eksempel anvendes som brændsel på et varmeværk.

En anden mulighed kan være udvanding af spildevand i flerårigt slætgræs, hvor biomassen kan anvendes til produktion af biogas. Ved udvanding i græs vil der kunne omsættes betydeligt større mængder næringsstoffer per hektar end i pil, og ved omsætning til biogas vil alle næringsstofferne bevares i den afgassede “græssgylle”.

På nuværende tidspunkt eksisterer der allerede en del anlæg med udvanding i energipil i blandt

Tekst af: Søren Ugilt Larsen, Sebastian Skipper Ravn & Jørgen Hinge, Teknologisk Institut, Uffe Jørgensen & Paul Henning Krogh, Aarhus Universitet, Bo Vægter & Laura Bailon, Aarhus Vand, Anne Berg Olsen, Thise Mejeri, Rikke Warberg Becker, Aarhus Kommune, Henrik Bach, Ny Vraa Bioenergy, Peder Gregersen, Center for Recirkulering, Hubert de Jonge, Eurofins Miljø A/S, tidligere Sorbisense



Foto: Søren Ujift, Larsen, Teknologisk Institut

Udbringning af spildevand med slæbeslanger i juli 2017 i pileplantage ved Egå Rensningsanlæg. Pilen er plantet i foråret 2016.

Billedet på modstående side viser lagune til opbevaring af vand fra ensilagepladser og befæstede arealer på Aarhus Universitets campus i Foulum.

andet Danmark, Sverige og Irland, og i det følgende beskrives tre danske eksempler på forskellige former for spildevand, der udvandes i energipil.

Spildevand fra beboelser

Egå Rensningsanlæg under Aarhus Vand repræsenterer kategorien af større centrale rensningsanlæg, der renser spildevand fra cirka 95.000 personer. I foråret 2016 blev der etableret 4,6 hektar med pil på en mark lige ved rensningsanlægget, og i sommeren 2017 er der påbegyndt udvanding af rejektvand fra slamafvanding på et 3,6 hektar stort delareal.

Et væsentligt incitament for udbringning af spildevand i pil ved Egå er Aarhus Vands hensigt om at opnå CO₂-neutralitet. Når pilebiomassen høstes og anvendes til energiformål, vil dette kunne fortrænge fossilt brændsel, ligesom kulstof bindes i rødder og jord og dermed giver et godt bidrag i klimaregnskabet.

Spildevand fra ensilage

Ved Aarhus Universitet, Foulum er der cirka 1,5 hektar befæstede arealer, heraf også en del ensilagepladser, hvorfra der i perioder kan ske afstrømning af ensilagesaft.

Generelt er der dog tale om spildevand med relativt lavt næringsstofindhold. Der skal således udbringes ret store mængder spildevand per hektar.

I 2011 blev der etableret et anlæg med en lagune til opsamling af spildevand og et areal på 1,2 hektar blev tilplantet med pil. Arealet blev udstyret med et rørsystem med drypslanger til udvanding af spildevandet, så man kunne spare udgifterne til en gyllebeholder og de løbende omkostninger til udbringning af spildevandet med gyllespreder.

Industrielt spildevand

På Thise Mejeri produceres der cirka 1½ liter spildevand per liter mælk, der indvejes. Spildevandet forrenses delvist og udledes til en lagune til

opbevaring. For at undgå lugtgener under opbevaringen er der behov for løbende udbringning.

Om sommeren udsprede spildevandet i landbrugsafgrøder, og for at kunne udbringe spildevand i vinterhalvåret, blev der i 2013 tilplantet et areal på 12 hektar med pil.

I sommeren 2017 blev der udlagt siveslanger i hver dobbeltrække à 2,25 meter, svarende til cirka 37 kilometer slanger, og udvandingen af spildevand er påbegyndt i efteråret 2017.

For Thise Mejeri har incitamentet for etablering af pileanlægget blandt andet været at undgå lugtproblemer ved opbevaring af spildevandet i lagune, men også at opnå et bedre image via recirkulering af næringsstoffer.

Økonomiske overvejelser

Hvis udvanding af spildevand i pil eller græs skal opnå større udbredelse, skal der være et økonomisk incitament sammenlignet med for



Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut

Siveslanger nedpløjet under jordoverfladen i pilemark ved Thise Mejeri.



Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut

Pileplantage ved Egå Rensningsanlæg, plantet i foråret 2016. Køresporene skyldes den meget våde sommer.

► eksempel konventionel spildevandsrensning. Og der skal være en gevinst for alle led i værdikæden, så der er en fordel for både den part, der har behovet for rensning af spildevand og for jordejeren/pileavleren.

Næringsstofferne i spildevandet har værdi som gødning, ligesom spildevandet kan give en vandings-effekt med højere udbytte, og begge dele vil være en økonomisk gevinst for pileavleren.

Foreløbige analyser af økonomien tyder dog på, at denne gevinst ikke er nok til at betale for anlæg og drift af systemet til udvanding af spildevandet.

Derfor er der også behov for andre økonomiske gevinster, for eksempel via besparelser i forhold til anlæg og drift ved konventionel håndtering og rensning af spildevandet.

En sådan besparelse vil ofte kunne findes, men vil variere afhængigt af spildevandstype og -mængde, transportafstand og andre specifikke forhold i hver enkelt situation. Som illustreret ved de tre eksempler på pileanlæg kan der også være andre incitamenter, som er sværere at værdisætte, for eksempel bidrag til CO₂-neutralitet og minimering af lugtgener. Der er derfor behov for

en vurdering af de praktiske muligheder og økonomien i hver enkelt tilfælde, men der vurderes at være store potentialer ved blandt andet:

- nyetablering eller udvidelser af rensningsanlæg
- beboelser i landområder
- beboelser i sommerhusområder
- virksomheder med spildevandsproduktion primært i sommerhalvåret
- rensning af relativt "ukompliceret" spildevand.

Kræver tilladelse

For spildevand med et væsentligt indhold af næringsstoffer skal der søges om tilladelse til jordbrugsmæssig anvendelse efter miljøbeskyttelseslovens § 19. Med et væsentligt indhold af næringsstoffer menes, at spildevandet kan anvendes som erstatning for et normalt anvendt gødningsprodukt eller eventuelt et jordforbedringsmiddel i forbindelse med dyrkning af jorden.

Videre perspektiver

Udvanding af spildevand i afgrøder vurderes samlet set at have store perspektiver, både i forhold til økonomi, miljø og bæredygtighed.

I fremtiden vil der være stigende behov for at sammentænke spildevandsrensning med planteproduktion, så næringsstoffressourcerne i spildevand i langt højere grad recirkuleres til primærproduktionen. Dette er særligt presserende for økologisk produktion, hvor der er mangel på næringsstoffer.

Der er dog også udfordringer både med hensyn til lovgivning og i forhold til at dokumentere, at der ikke er sundhedsmæssige risici, hvis næringsstoffer fra spildevand skal returneres til fødevarerproduktion. En mulighed for at fjerne eventuelle risici kan være et "double-loop-koncept", hvor spildevandet i første loop udledes i en non-food afgrøde såsom græs, hvorfra biomassen bruges til produktion af for eksempel biogas.

Efter behandling i biogasanlægget udledes næringsstofferne til fødevarer afgrøder i andet loop. Dette koncept ønskes udviklet og demonstreret i et fremtidigt projekt.

Artiklen er baseret på projektet "Biologisk spildevandsrensning i pil", der er finansieret af innovationsnetværket INBIOM.



Foto: Hyundai

Brintbranchen prøvekører spritny brintbil fra Hyundai

Brintbranchens direktør, Tejs Laustsen Jensen, har som den første dansker prøvekørt Hyundais nye brintbil, NEXO. Bilen, der er opkaldt efter Nexø på Bornholm, blev præsenteret for et internationalt publikum i starten af februar i forbindelse med Vinter OL i Sydkorea.

Tejs Laustsen Jensen var som eneste dansker inviteret med, da den nye brintbil blev præsenteret i Sydkorea, og han blev hurtig begejstret:

– Det var en utrolig god køreoplevelse. Særligt i den tætte trafik i Seoul kan man tydeligt se nytten af de grønne egenskaber; at den er partikelfri og kun udleder vand. Den nye Hyundai NEXO er oven i købet udstyret med et filter, som renser luften, når den kører, hvilket også understreger, at teknologien har taget et spring fremad, siger Tejs Laustsen Jensen.

Nexo er på alle punkter udstyret med den nyeste teknologi, og brændselscellen er mindsket betydeligt i størrelse og øget i effektivitet. Samtidigt er der indbygget et batteri, så bilen reelt fungerer som en hybridbil. Rækkevidden er på over 700

kilometer, og bilen kan tankes på under fem minutter.

I forbindelse med Vinter OL i Pyeongchang gør Hyundai, hvad de kan for at vise verden, hvor meget brintteknologien har udviklet sig i de senere år. Bilproducenten har blandt andet opsat en pavillon på Olympic Plaza, og både brintbiler og brintbusser bidrager til den officielle transport under legene.

Danske undertoner

Selvom Hyundai er koreansk er den nye brintbil faktisk opkaldt efter den bornholmske by Nexø. Danmark har længe haft en særlig stjerne hos den sydkoreanske bilproducent, og

Danmark var også blandt de lande, hvor de første brintbiler fra Hyundai, iX35 FCEV, blev præsenteret i 2013.

– Som dansker er jeg naturligvis stolt af, at verdens femte største bilproducent har valgt at opkalde deres bil efter en dansk by. Men særligt baggrunden er det værd at hæfte sig ved. Det er en vigtig anerkendelse af Danmarks stærke position på brintområdet, siger Tejs Laustsen Jensen.

Danmark har gjort sig bemærket hos Hyundai, da danske virksomheder og forskningsmiljøer er langt fremme hvad angår brint- og brændselscelleteknologi, har nogle gode rammevilkår samt er det første land i verden med et landsdækkende net af brinttankstationer.

– Men andre lande er også langt fremme og rykker stærkt i disse dage, så vi skal passe på, vi ikke hviler på laurbærrerne, men arbejde hårdt for at sikre vores stærke position, siger Tejs Laustsen Jensen, der også håber, at de danske undertoner hos den nye brintbil kan være med til at sætte øget fokus på brint til transport hos såvel beslutningstagere som den almene befolkning. TS

Brintbranchens Årsdag

**SerEnergy, Aalborg
18. april 2018**

Brintbranchens årsdag bliver denne gang afholdt hos brændselscellevirksomheden SerEnergy i Aalborg. Temaet vil være vil være grønne brændstoffer og elektro-fuels, og dagen vil være opdelt i to blokke om henholdsvis produktion og anvendelse.

Læs mere på:

www.brintbranchen.dk

Læs mere på www.hyundai.com.

Måling af vandindholdet i flis – en udfordring

I dag er det muligt at foretage online målinger af vandindholdet i flis, men erfaringerne viser, at målingerne ofte er upålidelige og problematiske at anvende i praksis. Et nyt EUDP-projekt skal være med til at sikre en mere korrekt bestemmelse af vandindholdet i flis.

Af Jan Nielsen, Peter Friis Østergaard og Anne Mette Frey

Træflis er karakteriseret ved et højt og meget varierende vandindhold, og da brændværdien afhænger af vandindholdet, er det nødvendigt at kende dette for at kunne kontrollere kvaliteten af brændslet – både af hensyn til afregningen af brændslet men også for at kunne optimere forbrændingen.

For at sikre kvaliteten anvendes der i dag standardiserede målemetoder (DS/EN 14774), der involverer prøveudtagning. Prøverne udtages oftest manuelt, hvorefter de bringes til laboratoriet, vejes, tørres og vejes igen. Forskellen mellem vægten før og efter tørringen tages som udtryk for vandindholdet. I fagsproget kaldes metoden for

“loss-on-drying” eller blot LoD-teknikken.

Desværre fjerner man sandsynligvis ikke alt vandet ved tørringsprocessen, men omvendt er det, der fjernes, ikke udelukkende vand, men også andre flygtige stoffer. Dette gør i sig selv målingerne upålidelige.

Med flis er der desuden andre forhold, der gør, at referencegrundlaget er usikkert. Skiftet fra fossile brændsler til vedvarende energikilder gennem de seneste årtier har betydet, at mængden af anvendt træflis er steget markant. Samtidigt sker der et skift i logistikken, hvor man i stedet for få store leverancer får mange små og mellemstore leverancer fra mange leverandører i både ind- og udland. Derved bliver det nødvendigt med et større antal

analyser for at kunne få et retvisende billede af vandindholdet.

Store fordele ved online måling

En optimal metode til måling af vandindhold i træflis vil være en online målemetode, hvor vandindholdet i brændslet registreres løbende. Der findes i dag en række kommercielt tilgængelige online analyser på markedet til kontinuerlig og berøringsfri måling af vandindhold i faste materialer. Det kan for eksempel foregå ved hjælp af mikrobølger eller nær-infrarød-stråling (NIR), der har længere bølgelængde end synligt lys, men kortere end mikrobølger.

Anvendelse af mikrobølger har den fordel, at de kan måle indholdet af vand hele vejen igennem en prøve. Det er således ikke kun van-



Figur 1. Flis kvalitet fra Verdo Kraftvarmeværk i Randers.



Figur 2. Flis fremstillet på basis af haveparkaffald.



Foto: Torben Skott/BioPress

Anvendelse af flis i energiforsyningen er steget markant gennem de senere år, og det giver nye udfordringer for værkerne. Det skyldes ikke mindst, at det kan være vanskeligt at bestemme vandindholdet i de mange leverancer, værkerne modtager fra forskellige leverandører i ind- og udland.

det i overfladen af prøven, der bliver målt; vandet i midten af prøven vil også blive vist i målingen. Ulempen ved metoden er, at vand i form af eksempelvis is om vinteren, samt vand, der er bundet i kapillarer i materialet, ikke giver udslag i målingen. Det er således kun "frit" vand på væskeform, der kan måles.

Måleudstyr baseret på NIR har den begrænsning, at det kun er i stand til at måle på de øverste millimeter til centimeter af en prøve. Udover vandindhold er det dog også muligt, med det rette kendskab til udstyr og materiale, at måle på indholdet af andre stoffer i prøven, der kunne være af interesse.

Udstyr til online målinger skal kalibreres på repræsentativt udtagne prøver i hver enkelt applikation.

Størstedelen af vandindholdet i træflis er "frit vand", og træflis vil afgive og/eller optage vand under transport, lagring og håndtering. Dertil kommer, at træflis – ud over rent træ – indeholder blandt andet bark, nåle og små grene – alt sammen bestanddele, som vil bidrage til variationen i vandindholdet.

Selv meget små prøver af træflis kan udvise store variationer i vandindholdet. På figur 1 ses en type skovflis, som bliver anvendt på Verdo

Kraftvarmeværk i Randers, mens figur 2 viser flis, der er fremstillet på basis af haveparkaffald, hvor mængden af nåle og grene er højere end på figur 1. Her må forventes en anden fordeling af vandet, og forskellige målemetoder vil derfor vise et forskelligt vandindhold.

Sporbarhed og kalibrering

Mange ressourcer kan spares, hvis man kan finde en målemetode, der giver et pålideligt resultat uanset hvilken type flis, der bliver målt på, og hvor i landet målingen foretages. Nøjagtig kalibrering og sporbarhed er i den forbindelse afgørende, så man til enhver tid kan dokumentere, at målingen er korrekt.

Allerede i 2015 etablerede Teknologisk Institut en primær standard for materialefugt. Det første led i at etablere sporbar kalibrering inden for området er altså på plads. Efterfølgende er der i 2017 dannet et konsortium bestående af en række kraftvarme- og fjernvarmeværker, en leverandør af flis, en udstyrsleverandør samt Teknologisk Institut. Konsortiet vil i EUDP projektet "Sporbar online fugtmåling i træflis – SOFT" over de næste år arbejde henimod en løsning af problemet ved at gennemføre en række aktiviteter.

Det kommer blandt andet til at omfatte:

- identificering af en reference-analysemetode
- undersøgelse af betydningen af brændslets sammensætning (ved, bark, grene, nåle, urenheder)
- optimering af proces til prøveudtagning
- udvikling af en repræsentativ kalibreringsmetode
- etablering af målesystem
- on-site evaluering af målesystemets effektivitet og nøjagtighed.

Målet er en signifikant forbedring af usikkerheden på bestemmelsen af vandindholdet i flis med online måleudstyr, samt at få valideret referencegrundlaget.

Jan Nielsen er sektionsleder i Installation og Kalibrering, Teknologisk Institut, e-mail jnn@teknologisk.dk.

Peter Friis Østergaard er specialist hos Installation og Kalibrering, Teknologisk Institut, e-mail peo@teknologisk.dk.

Anne Mette Frey er projektleder hos Transport og Elektriske Systemer, Teknologisk Institut, e-mail amf@teknologisk.dk.

Scania skal levere brintdrevne lastbiler til norske Asko i 2018

Den norske dagligvaredistributør Asko har for nylig indviet et stort elektrolyseanlæg, der leverer brint til gaffeltrucks. Senere på året skal det også levere brændstof til fire brintdrevne lastbiler.

Der er som bekendt både fordele og ulemper ved brint kontra batterier til transport, og det er baggrunden for, at den norske dagligvaredistributør Asko har valgt at satse på begge teknologier til deres fremtidige flåde af lastbiler. Selskabet har således bestilt ti batteridrevne lastbiler hos Tesla og fire brintdrevne lastbiler hos Scania.

Sidstnævnte bliver leveret sidst på året, men Asko har gennem længere tid forberedt sig på at integrere brint i selskabets energiforsyning. I december 2017 kunne man således indvie et elektrolyseanlæg, der skal producere 300 kg brint i døgnet. Elproduktionen stammer fra et 9.000 m² stort solcelleanlæg på Asko's lagerbygning i Trondheim, og ud over lastbiler skal anlægget også levere brint til ti gaffeltrucks.

Asko har en ambition om, at distributionen af madvarer skal være klimaneutral i 2020. Til den bynære distribution satser man især på batteridrevne lastbiler, mens de brintdrevne lastbiler med en rækkevidde på 500 kilometer vil kunne klare de længere strækninger.

Batteridrevne biler er langt mere energieffektive end biler med brint i tanken, så i den bynære bytrafik er batterier et oplagt valg. Omvendt udmærker brint sig ved en lang rækkevidde, en hurtig optankningstid, og så klarer brint sig bedre end batterier i den norske vinterkulde.

Den norske forskningsinstitution SINTEF arbejder tæt sammen med Asko og Scania om at udvikle fremtidens brintteknologi.

Læs mere på: www.asko.no og www.sintef.no.

Askos brinttankstation i Trondheim, der blev indviet i december 2017.

Norge vil bygge et af verdens største anlæg til grøn brint

I januar annoncerede Shell, at de ville bygge verdens største elektrolyseanlæg til fremstilling af grøn brint i Tyskland. Nu følger Norge trop med et tilsvarende anlæg.

Anlægget skal opføres af Norsk H2 i en eksisterende fabriksbygning på 6.000 kvadratmeter i Jelsa, ikke langt fra Stavanger. Det skriver Teknisk Ukeblad.

Anlægget i Jelsa bliver i store træk identisk med Shell's anlæg i Köln, som vi omtalte i det seneste nyhedsbrev, men hvor produktionen i Tyskland skal baseret på solceller og vindmøller, bliver der i Jelsa tale om norsk vandkraft. I begge tilfælde er det engelske ITM Power, der skal levere teknikken, og begge anlæg får en kapacitet på 10 MW.

I tilknytning til fabrikken i Norge er der en dybvandshavn, og det er vigtigt, da man forventer at eksportere en stor del af produktionen til Europa, hvor efterspørgslen på grøn brint er støt stigende.

Bag Norsk H2 står en række tyske selskaber. Opførelsen af fabrikken skal efter planen starte i juli, og det forventes, at produktionen kan starte op i 2020.

Læs mere på: www.tu.no.

Nyt materiale kan reducere prisen på brint

Forskere ved Sveriges største Tekniske Universitet, KTH, har fundet et nyt materiale, der kan reducere prisen på brint og samtidig gøre produktionen mere effektiv.

Brint bliver typisk fremstillet på basis af naturgas, men skal det være bæredygtigt vil det være oplagt at bruge vindmøllestrøm til at spaltes vand i ilt og brint. Dertil kræves en katalysator, som i dag fremstilles af dyre metaller som platin, ruthenium og iridium.

Nu har forskere ved Sveriges største Tekniske Universitet, KTH, imidlertid fundet frem til, at de dyre platinmetaller kan erstattes af et meget billigere materiale bestående af nikkel, jern og kobber.

– Den nye legering kan bruges til at spaltes vand i ilt og brint. Katalysatoren er mere effektiv end de teknologier, der er til rådighed i dag og betydeligt billigere. Det kan åbne op for storskalaproduktion af brint, fortæller Peili Zhang, der er med i det forskerteam, som står bag udviklingen af den nye katalysator.

De nye resultater fra KTH er publiceret i det videnskabelige tidsskrift Nature Communication.

Læs mere på www.kth.se.



Foto: www.sintef.no

Tyskland investerer 90 millioner kroner i udvikling af brinttog

Det tyske transportministerium støtter Siemens og RWTH Aachen Universitet med 90 millioner kroner. Pengene skal bruges til udvikling af mere effektive brændselsceller til tog.

I november sidste år annoncerede Siemens og den canadiske brændselscelleproducent Ballard, at man havde indledt et samarbejde om at udvikle et 200 kilowatt stærkt brændselscellesystem til Siemens-togmodellen Mireo. Systemet vil naturligvis også kunne bruges til andre formål, men lige nu samler interessen sig om brinttog. Det skriver Vätgas Sverige.

– Vi ser en stærk stigende efterspørgslen efter brændselscelleanlæg, der ikke udleder klimagas. Efterspørgslen er stigende inden for både person- og godstransport, hvad enten det drejer sig om tog, sporvogne, busser eller lastbiler, siger Randy MacEwen, CEO for Ballard Power Systems, til Vätgas Sverige.

Læs mere på: www.vatgas.se.



Foto: www.vatgas.se

Siemens-togmodellen Mireo, der fremover skal kunne udstyres med brintdrevne brændselsceller.

Forsker hos Haldor Topsøe modtager EliteForsk-prisen

Fellow ved Haldor Topsøe, Stig Helveg, har modtaget EliteForsk-prisen for sit arbejde, der blandt andet har givet ny viden om de kemiske processer, vi kalder katalyse.

Sidst i februar uddelte Uddannelses- og forskningsminister Søren Pind EliteForsk-priser til fem af Danmarks dygtigste yngre forskere for at skabe opmærksomhed om de klogeste hoveder og hylde de største forskningsresultater.

En af de fem forskere er fellow ved Haldor Topsøe, Stig Helveg, der på få år har fået publiceret adskillige artikler i de prestigefyldte tidskrifter "Nature" og "Science". Det skyldtes, at han sammen med kollegaer har kombineret vidt forskellige teknologier og dermed udviklet et mikroskop, der kan se detaljer helt ned i atomstørrelse. Det har givet ny viden om de kemiske processer, vi kalder katalyse. Før i tiden gættede man i høj grad.

– Tidligere var det virkelig sort magi at udvikle katalysatorer, siger han om de materialer, han kalder kemiens tryllestav, fordi de forøger hastigheden af kemiske reaktioner uden selv at blive forbrugt.

Katalysatorer i for eksempel kraftværkernes skorstene og bilernes udstødning renser røgen, så vi kan trække frisk luft i byerne. Men de kan også bruges til at omdanne brint og CO₂ til grønne brændstoffer.

Krisestemningen omkring verdens energi- og miljøudfordringer ser Stig Helveg fortrøstningsfuldt på:

– Man kan hurtigt blive pessimist af at se nyheder, men jeg er fuldstændig overbevist om, at vi nok skal finde løsninger på de globale energi- og miljøudfordringer. Vi har opnået skelsættende viden i de senere år, blandt andet fra mikroskopet, så potentialet er stort i katalyse.

Læs mere på: www.ufm.dk.

Japan er gået i gang med at teste brintdrevne tog

Japan er langt fremme, når det gælder om at bruge brint i transportsektoren, og det handler ikke længere kun om busser og personbiler. Nu kører man også test med det første brinttog.

Det er Japan Railways group, der er gået i gang med at teste et eltog, der forsynes med el fra brintdrevne brændselsceller. Det skriver Asian Review.

Railway Technical Research Institute i Japan har arbejdet med brintdrevne tog siden år 2000, men det er først nu, at brændselscellerne er kommet så langt ned i pris, at der er basis for et kommercielt gennembrud.

I første omgang er brintdrevne tog tænkt som et miljøvenligt alternativ til dieseltog på de mindre trafikerede strækninger, men Japan Railways group vurderer, at de også kan have en berettigelse på strækninger, der allerede er elektrificerede. Selskabet lægger meget vægt på præcision, og når der opstår fejl på de luftledninger, som forsyner togene med el, er det ikke blot en enkelt, men en lang række togafgange der bliver ramt. Her vil toge med egen energiforsyning være mindre sårbare.

Læs mere på: www.asia.nikkei.com.



Foto: asia.nikkei.com

Test af brintdrevet tog i Japan.

Strandopskyl og roetoppe skal bruges i nye produkter

I samarbejde med danske og udenlandske virksomheder vil Teknologisk Institut skabe nye produkter og øge værdien af de bioressourcer, som i dag ikke er optimalt udnyttet.

Mask, roetoppe, tang og ålegræs. Det er alt sammen restprodukter, som findes i store mængder i Danmark, men som ikke bliver udnyttet optimalt.

Anne Christine Hastrup arbejder til daglig med biomaterialer på Teknologisk Institut og har siden 2016 stået i spidsen for at designe, etablere og gennemteste et pilotanlæg til bioraffinering i projektet SUBLEEM under Grøn Omstillingsfond.

– I dag udnytter vi langt fra al biomasse optimalt. Med det nye anlæg og de kompetencer, vi har tilegnet os i SUBLEEM projektet, er vi nu i stand til at tilbyde vores hjælp til både det danske og internationale erhvervsliv, så vi ved fælles hjælp kan vise mulighederne for at skabe nye produkter og dermed øge værdien af de bioressourcer, som i dag ikke er optimalt udnyttet, siger Anne Christine Hastrup.

I projektet har der primært været fokus på at udtrække højværdikomponenter fra biomassen og skabe forskellige proteinrige fraktioner samt (kost) fibre. Samtidig har projektholdet afprøvet mulighederne for at tilsætte enzymer for at sikre en bedre adskillelse af de enkelte dele af biomassen. Det næste bliver at få undersøgt, hvordan biomaterialet kan bruges til udvikling af forskellige produkter som foder, fødevarer, kosmetik og byggematerialer.

– Vi er i gang med at teste egenskaberne af de forskellige protein- og fiberprodukter. Det vil være med til at klarlægge mulige anvendelser og også give os en indikation af, hvilken værdi de forskellige materialer kan forventes af have på markedet, slutter Anne Christine Hastrup.

Anne Christine Hastrup kan kontaktes på tlf. 7220 1602, e-mail acha@teknologisk.dk.



Bioraffinering kan øge værdien af de bioressourcer, som i dag ikke er optimalt udnyttet.

På vej mod keramiske elektrolyseanlæg i 2020

Forskere fra DTU Energi har demonstreret stabil drift af SOEC elektrolyse i mere end et år og demonstreret hvordan store SOEC-stakke kan anvendes problemfrit til at skabe balance i elnettet.

Keramiske elektrolyseceller (SOEC) giver mulighed for at skabe balance i elnettet ved at lagre elektrisk energi i form af syntetiske brændsler som brint og metangas. Disse gasformige brændsler kan efterfølgende omdannes til kulbrinter på væskeform og bruges til blandt andet transport. Når behovet opstår, kan de syntetiske brændsler omdannes tilbage til elektricitet ved at anvende ved at anvende keramiske brændselsceller (SOFC), der i princippet er det samme som SOEC, men hvor processen blot er vendt om.

I nærværende projekt har det været målet at forbedre ydeevnen og holdbarheden af SOEC-celler og -stakke, særlig med henblik på at bruge teknologien til effektiv regulering af det danske elnet, hvor en større og voksende andel af forsyningen udgøres af el fra solceller og vindmøller. Samtidig har det været målet at øge teknologiens konkurrenceevne med henblik på at gøre teknologien klar til markedet i 2020.

Projektet har demonstreret stabil drift af SOEC elektrolyse i mere end et år og demonstreret hvordan store SOEC-stakke kan anvendes problemfrit til at skabe balance i elnettet. I projektet er det lykkedes at forbedre SOEC til 1,25 A/cm², ligesom stak- og systemdesign er blevet valideret og implementeret i produktionen. Desuden er der udviklet en billigere og mere effektiv strømkonverter samt etableret en dansk køreplan for storskalaimplementering af elektrolysesystemer. Disse resultater er i tråd med den danske strategi for SOEC og har bidraget til at fremme kommercialiseringen af dansk SOEC-teknologi.

Titel:	På vej mod keramiske elektrolyseanlæg i 2020
Kontakt:	DTU Energi, Ming Chen, ☎ 4677 5757, ✉ minc@dtu.dk
Info:	https://energiforskning.dk
Sagsnr.:	ForskEL-12276
Tilskud fra:	PSO
Tilskud:	15.450.000 kroner

Nye modeller til optimering af biogasproduktionen

Forskere ved Syddansk Universitet har udviklet en række modeller, der blandt andet kan beregne biogaspotentialer af forskellige typer biomasser, økonomien i biogasanlæg samt udledning af metan og lattergas fra afgasset og ubehandlet gylle.

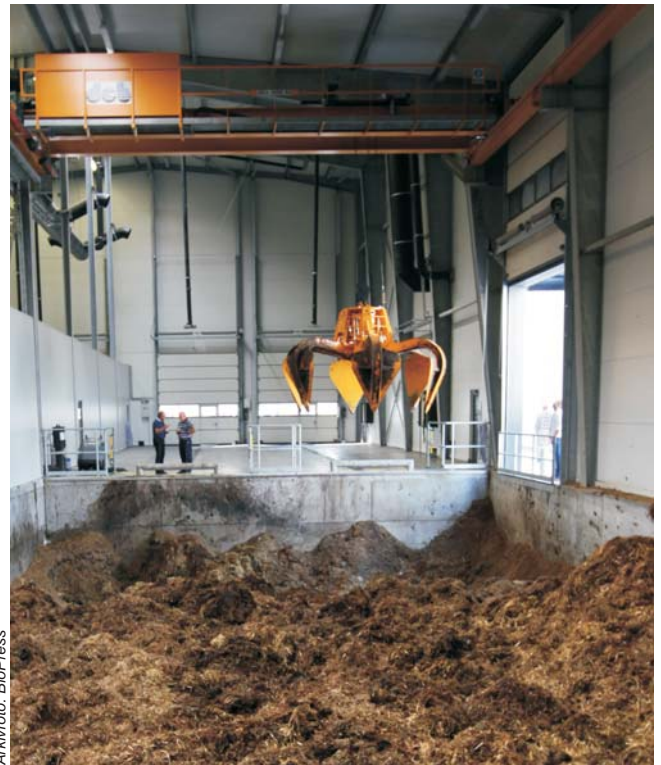
I projektet har forskerne inddraget alle værdikædens led – det vil sige fra indsamling af biomasse over energiproduktion til anvendelse af afgasset biomasse. På den måde kan modellerne være med til at optimere produktionen af biogas og sikre en god økonomi for alle operatører. Syddansk Universitet har været tovholder for projektet, der er udført i samarbejde med DTU, Aarhus Universitet og Københavns Universitet.

Der er blandt andet udviklet et online-værktøj til beregning af gaspotentialer fra forskellige typer biomasse. Med værktøjet kan driftslederen beregne den potentielle biogasproduktion, og ud fra de værdier kan den aktuelle produktion beregnes som funktion af temperatur og opholdstid. Beregningerne kan enten foretages med standarddata, som er tilknyttet modellen, med data om sammensætning af biomassen eller med data fra portionsudrødning af biomassen.

Studier af biogasproduktionen fra kildesorteret husholdningsaffald, afgrøderester og husdyrgødning har bidraget til udvikling af teknologier til måling af biogaspotentialer ved såkaldte NIR- og FTIR-analyser. Udviklingen af disse teknologier fortsætter med henblik på udvikling af præcise, billige og robuste udstyr til måling af biogaspotentialer.

Der er udviklet dynamiske modeller til beregning af økonomien ved håndtering af biomassen, gasproduktion og slutanvendelse af energien. Modeller og analyser indgår i Energistyrelsens overvejelser om de fremtidige støtteordninger, hvor de bidrager til at finde den økonomisk optimale brug af biogas i energisystemet. Modellerne er integreret i Balmorel-modellen, der anvendes til analyse af energisektoren med vægt på el og kraftvarme.

Udviklingen af de økonomiske modeller er sket sideløbende med udviklingen af modeller til analyse af biologisk omsætning, kulstof og emission af drivhusgasser. Modellerne har blandt andet kunnet påvise, at samensilering af grønne afgrøderester og halm er en økonomisk attraktiv form for lagring af biomasse, der samtidig



Med et nyt online-værktøj kan biogasanlæggets driftsleder beregne den potentielle biogasproduktion fra forskellige typer biomasse.

kan være med til at forbehandle biomassen, så det er lettere for biogasanlæggene at udnytte det fulde gaspotentialer. Det har for eksempel ført til, at samensilering af restprodukter nu testes ved både landbrugsbaserede biogasanlæg og anlæg opført i tilknytning til rensningsanlæg.

I projektet er der udviklet en ny model til beregning af metanudledningen fra lagring af både afgasset og ubehandlet gylle. I den nye model er algoritmerne baseret på kontrollerede eksperimenter med husdyrgødning. Sammen med canadiske forskningsgrupper bliver modellerne videreudviklet og testet. Målet er at vise, hvordan beskedne ændringer i håndtering af husdyrgødning kan bidrage til en væsentlig reduktion af metanudledning og på samme tid øge produktionen af biogas. Ifølge FN's klimapanel er metangas som drivhusgas 34 gange værre end kuldioxid.

Tilsvarende er der videreudviklet en submodel for emission af lattergas, og der er opnået en større forståelse af samspillet mellem sammensætningen af biomasse, jordbundsforhold, og potentialer for lattergasemission. Lattergas er en yderst potent drivhusgas, der er 298 gange værre end kuldioxid.

Endelig er der i projektet udviklet simple modeller, der kan forudsige, hvor meget kulstof der bindes i jord, efter at den afgassede biomasse er ført tilbage til jorden.

Titel:	Bio Chain – Optimering af værdikæder til produktion af biogas i Danmark
Kontakt:	Syddansk Universitet, Sven G. Sommer ☎ 6550 7359, ✉ sgs@kbn.sdu.dk
Sagsnr.:	ENMI 12-132631
Tilskud fra:	Innovationsfonden
Tilskud:	19.630.000 kroner

Høst og håndtering af enggræs til biogasanlæg

Foto: Kverneland Group



Kverneland Group har udviklet en skårlægger, der på én gang kan høste og forbehandle enggræs til brug i biogasanlæg. Der er potentiale for at videreudvikle maskinen, så Kverneland Group har nu taget patent på teknologien.

Det er velkendt, at mange gyllebaserede biogasanlæg kan øge gasproduktionen markant ved at supplere gyllen med anden form for biomasse. Enggræs og kløvergræs fra marginale og miljøfølsomme arealer kan i den forbindelse være oplagt som supplement til gylle. Græs konkurrerer ikke med produktionen af fødevarer, og når det fjernes fra de miljøfølsomme områder, får man samtidig reduceret udvaskningen af nitrat og fosfor betragteligt.

I dag er der imidlertid sjældent økonomi i at bruge græs fra miljøfølsomme områder til produktion af biogas. Omkostningerne til høst og håndtering af biomassen er relativt høje – især når der er tale om mindre områder. Dertil kommer, at enggræs og kløvergræs er svært omsættelig i et biogasanlæg og kræver en eller anden form for forbehandling, hvis udbyttet skal være optimalt.

I nærværende projekt har Kverneland Group udviklet en særlig skårlægger, der både høster og "åbner" græsset, så metanpotentialet lettere kan udnyttes i et biogasanlæg. Teknologien kaldes excoriation, hvilket frit oversat betyder "skræller skindet af". Maskinen er bygget op over chassiset fra en skårlægger med arbejdsbredde på 3,2 meter. Den oprindelige hydraulik, høstbjælke, chassis og frontafskærmning er bibeholdt, mens resten af den oprindelige maskine er udskiftet med andet udstyr.

Resultaterne fra projektet viser blandt andet, at forbehandling af græsset medfører et øget gasudbytte på omkring 20 procent. Hvis dette bruges som forudsætning, er det beregnet, at et ton excorieret græs i rundballe har en netto merværdi i forhold til ubehandlet græs

på mellem 120 og 180 kroner/ton råvare afhængigt af bjærtnings- og ensileringsmetode.

Marktestene viste, at der var udfordringer med at få kapaciteten op på det ønskede niveau, ligesom der var udfordringer med at få et fornuftigt flow igennem maskinen. Det hænger sammen med, at parcellerne var relativt små og ikke egnet til en bugseret maskine. Endvidere var jordbunden i 2017, hvor de endelige forsøg fandt sted, meget fugtig og maskine såvel som traktor havde betydelige udfordringer med ikke at køre fast. Dertil kommer den store diversitet på biomassen, som der ofte er tale om ved ekstensive arealer. Den sidste prototype viste dog klare forbedringer i forhold til den første udgave, og forsøg med ændringer af maskinens indføddning samt maskinudformning eliminerede stort set problemet med manglende flow i maskinen.

Maskinen vurderes at være velegnet til at behandle og "åbne" græsset med henblik på at øge metanpotentialet. Det vurderes ligeledes, at der er et potentiale for at videreudvikle og optimere teknologien til formålet. Derfor har Kverneland Group nu taget patent på teknologien.

Skårlæggeren kunne imidlertid ikke som ventet sættes i produktion ved projektets afslutning, men der arbejdes videre frem mod en afprøvning af teknologien i større skala.

Titel:	Ny teknologi for en effektiv udnyttelse af enggræs i biogas reaktor
Kontakt:	Kverneland Group, Peter Waldemar, ✉ peter.waldemar@kvernelandgroup.com ☎ 2835 9213
Sagsnr.:	ENS 64013-0159
Tilskud fra:	EUDP
Tilskud:	5.530.000 kroner

Halm og roetoppe er det ideelle kraftfoder til biogasanlæg

Foto: Søren Ugjift Larsen, Teknologisk Institut



Energiproduktionen fra biogasanlæg kan boostes med kort varsel ved tilsætning af roetoppe og halm. På den måde kan energiproduktionen fra biogasanlæggene være med til at skabe balance i elnettet. Det viser et netop afsluttet ForskEL-projekt, som Teknologisk Institut har været tovholder for.

I takt med at vi får flere og flere vindmøller og solcelleanlæg, stiger behovet for fleksible elværker, og det har fået Teknologisk Institut til at undersøge, hvordan man kan skrue op og ned for biogasanlæggenes energiproduktion afhængig af, hvor meget el, der er på markedet.

Det er velkendt at biogasproduktionen kan boostes med letomsættelige biomasser som fedt- eller sukkerholdigt industriaffald, ligesom energiafgrøder kan være med til at sætte skub i gasproduktionen. Udbuddet af letomsætteligt industriaffald er imidlertid begrænset, og i Danmark er der grænser for, hvor store mængder energiafgrøder biogasanlæggene må anvende.

Forskerne har i stedet kigget på restprodukter fra landbruget i form af halm og roetoppe. Hver år bliver 2-3 millioner tons halm om året nedmuldet i stedet for at blive brugt til energiformål, og dertil kommer 30-40.000 hektar med sukkerroer, hvor man ikke udnytter toppene. Sammenlagt repræsenterer disse restbiomasser et energipotential, der svarer til omkring 500.000 tons olie.

En række forsøg viser, at ensilageblandinger, der består af 75 procent roetop og 25 procent halm er et glimrende "kraftfoder" til biogasanlæg. Der kan forventes et udbytte på 250-300 Nm³ metan/ton organisk tørstof i ensilagen, og i flere forsøg er der fundet en betydelig synenergieffekt ved at samensilere halm og roetoppe. Samlet set vurderes synenergieffekten at være væsentlig større end det tab, der sker under ensileringen, og der vil således kunne opnås en nettogevinst ved at kombinere halm med roetoppe.

Ren halm kan være en udfordring for mange biogasanlæg, da det kan være vanskeligt at føde ind i reaktoren og har en tendens til at danne flydelag. Når halm ensileres sammen med roetoppe sker der imidlertid en opfugtning af halmen, hvilket gør det lettere at håndtere, ligesom risikoen for flydelag mindskes.

Beregninger viser, at omkostninger til blandingsensilagen ligger på 2,50-3,00 kroner/Nm³ metan, hvis roetoppe kan hentes inden for en radius på 10 kilometer og halmen skal købes til markedspris. Denne pris er fuldt konkurrencedygtig med råvareprisen for blandt andet majsensilage, og har man selv halmen til rådighed og kun behøver at indregne bjærgningsomkostninger, kommer prisen ned på 1,50-2,00 kroner/Nm³ metan.

Halm og roetoppe er et bæredygtigt alternativ til energiafgrøder, der med kort varsel kan bruges til at booste gasproduktionen. Er der tale om ensilageblandingerne med 25 procent halm og 75 procent roetoppe, topper gasproduktionen efter cirka tre dage. Den termofile proces reagerer hurtigere end den mesofile, men hvis man generelt ønsker en hurtigere reponstids, kan man øge mængden af roetop.

Ved tilførsel af roetop-halmensilage falder metanprocenten kortvarigt, ligesom der er risiko for at skabe ubalance i processen ved ophobning af organiske fede syrer – især hvis der tilføres store mængder ensilage.

Titel:	Flexible CHP from Biogas based on Waste Biomass
Kontakt:	Teknologisk Institut, Kurt Hjort-Gregersen ☎ 7220 3295, ✉ kuhj@teknologisk.dk
Sagsnr.:	ForskEL-12160
Tilskud fra:	PSO
Tilskud:	1.520.000 kroner

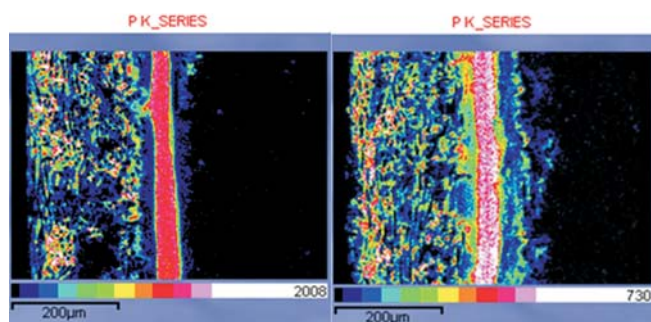
Robuste HT-PEM brændselsceller til smart grid

I projektet er det lykkedes forskere fra DTU at forbedre holdbarheden for brændselsceller af typen HT-PEMFC. Samtidig er perspektiverne ved at bruge brændselscellerne i et smartgrid energisystem blevet kortlagt.

Projektet har haft til formål at udvikle mere robuste HT-PEM brændselsceller, der kan fungere ved en temperatur på 160°C. Det skyldes, at membranen er tilsat fosforsyre, som opretholder ionledningsevnen ved temperaturer, hvor almindelige membraner normalt mister denne evne på grund af udtørring. En af fordelene ved HT-PEMFC i forhold til LT-PEMFC er, at cellerne kan anvende metanol som brændstof, der konverteres til brint umiddelbart inden, det skal bruges i cellen.

Blandt de vigtigste resultater kan nævnes en bedre forståelse af tabet af fosforsyre ved drift over adskillige tusinde timer. Test af levetiden og kortlægning af fosforsyre i de forskellige dele af cellen har ganske uventet vist, at supportmaterialet til elektroderne kan spille en væsentlig rolle, når det drejer sig om at begrænse syretabet. I projektet er der udviklet en modificeret membran med stærkt reduceret syretab, og det er ved at blive undersøgt, om der kan opnås et patent.

Sideløbende med udvikling af membranen har DTU Elektro kortlagt perspektiverne for at bruge HT-PEMFC i et smartgrid-energisystem, hvor der er fokus på at skabe overensstemmelse mellem udbud og efterspørgsel på el.



Kortlægning af fosforsyre i en HT-PEM brændselscelle. Linjen i midten er membranen, mens iltelektroden er til højre for linjen. Jo lysere farve, jo mere syre.

Titel:	SmartMEA
Kontakt:	DTU Energi, Jens Oluf Jensen, ☎ 4525 2314, ✉ jojen@dtu.dk
Sagsnr.:	ForskEL-12218
Tilskud fra:	PSO
Tilskud:	10.120.000 kroner

Dansk-koreansk samarbejde om HT-PEM brændselsceller

Forskere fra DTU og Korea Institute of Science and Technology i Seoul har arbejdet sammen om at videreudvikle HT-PEM brændselscellen. I projektet har der været fokus på de centrale elementer som membran og katalysatorer.

Ved DTU Energy er der gennemført et ph.d.-projekt om ionledende membraner, der adskiller elektroderne i en brændselscelle. Arbejdet er foregået i samarbejde med Korea Institute of Science and Technology (KIST) i Seoul. Der er blandt andet udviklet en ny forgrenet variant samt en række krydsbundne varianter af polymeren PBI. Sideløbende hermed er et nyt uorganisk additiv til PBI udviklet på Yonsei University. Det er efterfølgende blevet testet og fundet lovende af Danish Power Systems, der producerer komponenter til færdige brændselscellesystemer.

Ved DTU Fysik er der gennemført et andet ph.d.-projekt om katalysatorer, der får de elektrokemiske processer i brændselscellen til at forløbe med så små tab som muligt. Arbejdet er foregået i samarbejde med Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) i teknologibyen Daejeon. Her har der blandt andet været fokus på overfladelegeringer af platin med kobber, hvor det er lykkedes at opnå en hurtig iltreduktion ved at regulere bindingsforholdene mellem ilt og brint. Derudover er legeringer af gadolinium og platin blevet studeret i form af tyndfilm, hvor DTU Fysik tidligere har påvist, at der er tale om legeringer med en ekstraordinær høj aktivitet.

De kulturelle aspekter af samarbejdet er belyst af Nordisk Institut for Asienstudier (NIAS) ved Københavns Universitet. I den forbindelse er der afholdt to workshops: One Project, Two Cultures i Seoul og Danish Korean Bi-Cultural Workshop i Asia House i København. Ved de to workshops har der blandt andet været oplæg fra den koreanske og den danske ambassadør. NIAS har ydermere samarbejdet med Chonnam University om en publikation om erfaringerne fra samarbejdet.

Titel:	KDFuelCell - Komponenter og materialer til elektrokemisk energikonvertering
Kontakt:	DTU Energi, Jens Oluf Jensen, ☎ 4525 2314, ✉ jojen@dtu.dk
Sagsnr.:	3047-00007B
Tilskud fra:	Innovationsfonden
Tilskud:	6.500.000 kroner

Bakterier konverterer brint og kuldioxid til metangas

En lille encellet mikroorganisme, der lever af kuldioxid og brint, kan blive en billig og effektiv metode til opgradering af biogas. Det viser erfaringer fra et stort demonstrationsanlæg hos Biofos, der renser spildevand for 15 kommuner i Storkøbenhavn.



Foto: Torben Skatt/BioPress

Det er firmaet Electrochaea, der i samarbejde med en lang række partnere har udviklet teknologien, hvor man bruger bakterier og brint til at opgradere biogas til naturgaskvalitet. Teknikken er med succes blevet testet på et demonstrationsanlæg hos Biofos på Avedøre Holme.

Processen foregår i en særskilt reaktor, hvor temperaturen er på knap 60 °C, og bakterierne begynder at producere metan i løbet af et halv til et hel minut, bare de har brint, kuldioxid og en temperatur på knap 60 °C til rådighed. De er ikke specielt følsomme over for eksempelvis svovlbrinte eller andre urenheder i biogassen, og de trives fint side om side med metanbakterier i biogas. Anlægget er i stand til at levere gas, der består af 97 procent metan, 2 procent brint, under 1 procent CO₂ og mindre end 5 ppm svovlbrinte.

Med de nuværende rammevilkår i Danmark, hvor der er afgift på den mængde el, der bruges til fremstilling af brint, er der ikke økonomi i at konvertere el til metangas. I runde tal bliver omkring halvdelen af strømmen til gas, mens 30 procent bliver til varme. Endelig er der en ikke ubetydelig produktion af ilt, som med fordel vil kunne udnyttes på eksempelvis et rensningsanlæg.

Titel:	Power-to-Gas via Biological Catalysis (P2G-BioCat)
Kontakt:	Electrochaea, Mich B. Hein ☎ +41 796 861 727, ✉ Mich.Hein@electrochaea.com
Sagsnr.:	ForskEL-12164
Tilskud fra:	PSO
Tilskud:	27.600.000 kroner

Opbevaring af brint under tryk og som fast stof

Med Aarhus Universitet som tovholder har en gruppe forskere udviklet nye metoder til komprimering, optankning samt opbevaring af brint under tryk og som fast stof.

På DTU-Mekanik har forskerne blandt andet udviklet en ny metode til komprimering af brint. Den nye kompressor anvender en ionisk væske, som er udviklet på DTU-Energi. Væsken anvendes som stempel i en kompressor, der er dimensioneret, bygget og testet i løbet af projektet, og som tillader bedre afkøling af brinten. Endelig har DTU-Mekanik designet en ny opbevaringstank med avanceret varnehåndtering, der kan lagre brint som både gas og fast stof.

I projektet er der fundet en lang række nye materialer til opbevaring af brint som fast stof. Materialerne er blevet undersøgt nærmere ved eksperimentelt arbejde på Aarhus Universitet og teoretisk simulering på Korea Institute of Science and Technology i Seoul. Der er blandt andet tale om nogle forbindelser, der kan lagre et ekstremt højt indhold af brint. I samarbejde med den tyske forskningsinstitution HZG i Hamborg er blandingen LiBH₄-MgH₂ blevet undersøgt nærmere, katalyseret og optimeret til reversibelt at kunne opbevare otte vægtprocent brint.

Nogle af de nye opdagelser vil muligvis blive patenteret. Desuden har projektet uddannet syv ph.d'er og videreuddannet seks postdoc'er, publiceret mere end 100 videnskabelige artikler og leveret mere end 100 konferencbidrag i perioden 2012 – 2017.



Foto: Aarhus Universitet

Titel:	HyFill-Fast – Hurtig, effektiv brint-tankning og -lagring med høj kapacitet på køretøjer
Kontakt:	Aarhus Universitet, Torben R. Jensen ☎ 2272 1486, ✉ trj@chem.au.dk
Sagsnr.:	ENMI 11-116802
Tilskud fra:	Innovationsfonden
Tilskud:	21.790.000 kroner

FIB – udgives med støtte fra Energinet.dk og Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP), der administreres af Energistyrelsen. Der udkommer fire tidsskrifter og otte nyhedsbreve om året. Gratis abonnement kan tegnes på www.biopress.dk.

BioPress bringer løbende nyheder fra forskernes verden. Følg med på www.biopress.dk, hvor du kan downloade artikler, nyhedsbreve og tidsskrifter.

Ansvarshavende redaktør:
Journalist Torben Skøtt

ISSN: 1904-6960

Produktion:

BioPress
Strandskadevej 7
8250 Egå
Telefon 4051 8507
E-mail: biopress@biopress.dk
Hjemmeside: www.biopress.dk

Forsidefoto:

Foto: 3938030/Pixabay

Oplag: 3.300 stk.

Tryk:

CS Grafisk. Bladet er trykt på svanemærket offset papir.

Næste nummer:

– udkommer medio juni 2018.
Deadline for redaktionelt stof er den 15. maj 2018.



Foto: Van Hool

Nu er brintbusserne sendt i udbud

Som de første i landet vil flere nordjyske buspassagerer om et års tid blive fragtet fra sted til sted i brintbusser, der hverken udleder CO₂ eller forurenende stoffer.

Region Nordjylland og Aalborg Kommune har netop sendt en bestilling på tre brintbusser i udbud. Prisen er i omegnen af seks millioner kroner stykket. Både EU og Vækstforum Nordjylland yder tilskud til forsøget. Det skriver dr.dk.

Med brintbusserne markerer Region Nordjylland sig endnu engang som et vækstcenter for brint- og brændselsceller. Hobro har siden 2001 været hjemsted for Erhvervscenter Cemtec, der i 2015 skiftede navn til Hydrogen Valley for at understrege, at der især fokuseres på brintteknologier. Centret er således tovholder på en lang række projekter, hvoraf det mest kendte er HyBalance, der går ud på at bygge en af Europas mest avancerede fabrikker til fremstilling af brint på basis af vindmøllestrøm. Fabrikken, der opføres af franske Air Liquid, kommer til at koste omkring 112 millioner kroner og forventes at kunne indvies inden for den nærmeste fremtid.

I dag kører der knap 100 brintbusser rundt på de europæiske veje. Det lyder måske ikke af meget, men teknologien er inde i en rivende udvikling, så busserne bliver hele tiden mere energieffektive og ikke mindst billigere. Det er også nødvendigt, for hvis busserne skal blive et reelt alternativ til de mange dieseldrevne busser, skal prisen formentlig ned på under fire millioner kroner.

Den helt store fordel ved brintbusser er, at de er stort set lydløse og kun udleder vanddampe. El-drevne busser til batterier har samme lave lydniveau, men her kan det tage 7-8 timer at oplade bussen, hvor en brintbus kan tankes 6-8 minutter.

I udbudsmaterialet har parterne bedt om at få busser, der kan køre 500 kilometer på en optankning. Der vil formentlig blive bygget tankanlæg ved et af de busselskaber, der er med i projektet, så busserne kommer til at køre ud fra Aalborg.

Service og vedligeholdelse bliver næppe noget problem. Hydrogen Valley har et projekt, hvor man efteruddanner mekanikere til at servicere brintbusser, og i Hobro ligger Ballard Power, der servicerer brintbusser i hele Europa.