

Af Eva Max Andersen



Hvert hjem sin brændselscelle

I takt med verdens voksende klimaproblemer stiger behovet for nye bæredygtige energiteknologier

Mere effektivt end de fleste andre teknologier kan brændselsceller uden støj og forurening lave kemisk energi om til strøm.

Forskere på Risø arbejder sammen med Haldor Topsøe A/S på at virkeliggøre visionen om, at hvert enkelt parcelhus kan få strøm og varme fra sit eget lille brændselscellebaserede kraftværk.

Ren energi

Brændselsceller laver ren energi: Udstødningen fra et brændselscelleanlæg, der drives af naturgas, består af vanddamp og kuldioxid.

Mængden af kuldioxid er dog mindre pr. kW end fra traditionelle anlæg, da brændselsceller omsætter den kemiske energi til strøm meget mere effektivt.

Da temperaturen i brændselsceller er lav sammenlignet med temperaturen i en flamme, dannes der ikke nitrogenoxider. Udslippet af svovl er minimalt, og støjniveauet er lavt. Brændselscelleanlæg opbygges i moduler og kan derfor tilpasses næsten ethvert formål.

På vej til kommerialisering

Risøs forskere har udviklet en brændselscelle udelukkende baseret på keramiske materialer, den såkaldte SOFC-celle (Solid Oxide Fuel Cell), som i dag er blandt de bedste i verden med en udsædvanlig mekanisk styrke og en meget høj effektivitet.

Derfor forventes Risøs brændselsceller at kunne masseproduceres til en stakpris væsentlig under EU's mål for 2005 på 3.500 kr. pr. kW.

Det er en af grundene til, at Haldor Topsøe A/S har været villig til at indgå en aftale med Risø om udvikling af brændselsceller til kommerciel udnyttelse. Aftalen sikrer en indsats inden for SOFC på mindst 35 mandår pr. år på Risø over de næste 5 år. Budgettet er på ca. 175 millioner.

Målsætningen med aftalen er at være blandt de absolut førende i verden inden for SOFC-teknologien. Risø og Haldor Topsøe A/S har samarbejdet om brændselsceller i mange år, men har nu formaliseret arbejdet ved en kontrakt.

Således har Topsøe ansvaret for industriel produktion og markedsfø-

ring, og Risø vil hovedsageligt arbejde med udvikling af teknologien samt udføre mellem og langsigtet forskning, der også fremover kan sikre Danmark en international førerposition på området.

Levetid

Som led i projektet er der på Risø etableret et eksperimentelt produktionsanlæg til fremstilling af celler. Formålet med anlægget er at opskalere de eksisterende laboratoriefremstillingsmetoder for at opbygge den nødvendige know-how til at etablere en egentlig industriel produktion. Helt konkret skal reproducerbarheden forbedres, og der skal udvikles ikke-destruktive metoder til produktionskontrol, så der kan produceres ensartede celler til analyse og optimering af levetid.

En levetid på fem til ti år pr. cellestak er nødvendig for at få en god økonomi i et kraftværk med brændselsceller.

For at teste levetiden benytter forskerne accelererede tests, hvor cellestakken udsættes for højere temperaturer og højere strømstyrker end under almindelige driftsbetingelser. De kritiske parametre er blandt andet, i hvilken grad der sker korrosion af stålet i celleforbindelsespladen, samt om de forskellige dele af cellen

påvirkes i uheldig retning. Endelig er det vigtigt at afklare, om cellerne kan tåle at køre på naturgas i lange perioder.

Kemisk energi til strøm

En brændselscelle består af en gas-elektrode og en luftelektrode, der er adskilt af en elektrolyt.

Der findes flere typer brændselsceller både flydende og faste, med lidt forskellige egenskaber.

Risøs SOFC-celle består af nikkelfoldige keramiske materialer. Den positive luftelektrode omdanner iltmolekyler til negativt ladede iltioner ved optagelse af elektroner.

Iltionerne vandrer gennem elektrolytten over til den negative gaselektrode, hvor de reagerer med gassens brint og danner vand.

For hvert vandmolekyle dannes to elektroner, som sendes på arbejde i el-nettet.

Elektronerne vender tilbage til brændselscellen, og her samles de op af iltatomer i luftelektroden, og der dannes nye iltioner, som får processen til at starte forfra.

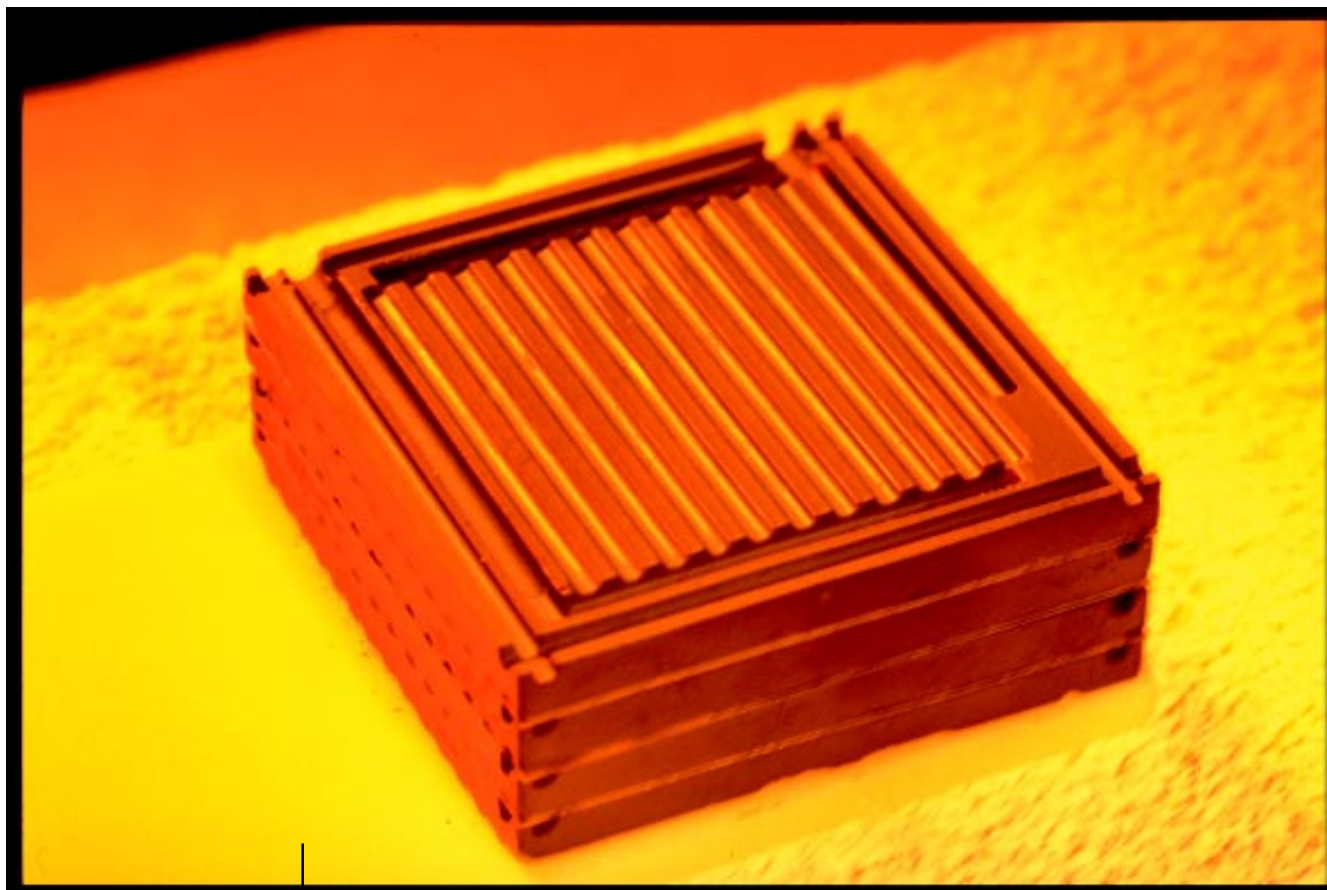
Processen kører, så længe der tilføres brændstof og ilt.

Høje temperaturer

For at spændingen ikke skal falde for meget, når der bruges strøm,

Søren Linderoth i Risøs nye brændselscellelaboratorium med panoramaudsigt over Roskilde Fjord. Søren Linderoth er leder af brændselscelleprogrammet på Risø, som involverer mere end 55 personer på Risø. Han har arbejdet med forskning og udvikling af brændselsceller i snart 10 år.





En brændselscellestak.

skal den indre modstand i cellen minimeres.

Det er på dette punkt, at Risø har udviklet en yderst konkurrencedygtig celle.

Risøs forskere har optimeret elektroderne og gjort elektrolytten så tynd som muligt.

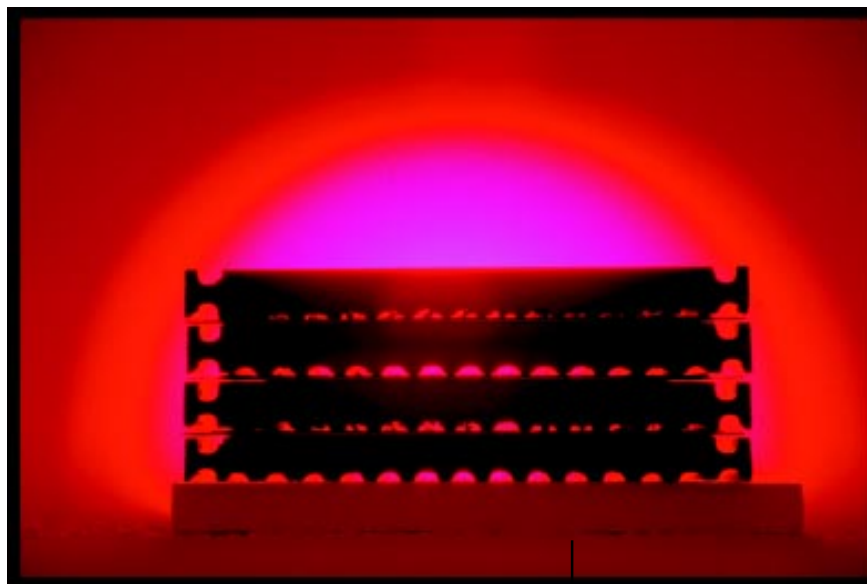
Den tynde elektrolyt gør det nemmere for iltionerne at diffundere igennem elektrolytten, og cellerne arbejder derfor fortrinligt ned til 800 grader, hvor driftstemperaturen tidligere var helt oppe på 1.000 grader. På kort sigt er det målet at sænke driftstemperaturen yderligere.

Det langsigtede mål er at udvikle celler, der kan arbejde ved 650 grader.

Metal erstatter keramik

En enkelt celle leverer en spænding på maksimalt 1 volt. For at opnå den nødvendige spænding serieforbinderes mange celler i en såkaldt cellestak ved hjælp af celleforbindelsesplader.

Den lavere driftstemperatur har gjort det muligt at bruge billige metalliske materialer til celleforbindelsespladerne frem for dyr keramik.



En model af en brændselscellestak.

Der forskes stadig i at finde den bedste metallegering, som kan modstå den forholdsvis høje temperatur i mange år, der arbejdes med beskyttelsesbelægninger, som kan være med til at holde kontaktmodstanden mellem metal og den keramiske celle lav.

Stor virkningsgrad

Brændselscelleteknologien er attrak- ▶

tiv til kraftvarmeproduktion både i anlæg i den enkelte husstand og i store centrale kraftvarmeverker. SOFC-celler producerer i modsætning til for eksempel et naturgasfyrbåde strøm og varme, og de gør det med en uovertruffen effektivitet. Virkningsgraden forventes at blive 50-60 procent, og det overgår de allerede industrielt modne celler på markedet, som har virkningsgrader på 40-50 procent.

Moderne kraftværker, der fyrer med kul, naturgas eller biogas, omdanner ca. 48 procent af brændslets energi, mens el-virkningsgraden på de decentrale kraftvarmeverker ligger på mellem 25 og 35 procent.

Kobler man et brændselscelleanlæg til en gasturbine, kan den samlede el-virkningsgrad komme helt op på 70-80 procent.

Den store virkningsgrad gør strømmen både billigere og mere miljøvenlig.

Kraftværker i parcelhusstørrelse

Alle typer brændselsceller kan køre på brint, hvilket også er det mest miljøvenlige, da den eneste udstødning er vanddamp.

En forudsætning er dog, at man har miljøvenligt fremstillet brint til rå-

dighed, hvilket ikke er tilfældet i dag.

SOFC-cellen vil på sigt kunne køre direkte på metan, som er hovedbestanddelen af naturgas, det kræver dog stadig en videreudvikling af celledelene.

Indtil videre sættes der på, at SOFC-cellerne skal drives af naturgas ved hjælp af en såkaldt pre-reformer, som omsætter naturgassen til brint og kulmonooxid.

Brændselsceller fylder ikke særlig meget. Et 2,5 kW-anlæg, som kan forsyne en almindelig dansk husstand med både el og varme, vil have samme størrelse som et traditionelt oliefyrbåde og kan ligesom det placeres i bryggers eller kælder.

Et typisk anlæg vil ud over selve brændselscellestakken bestå af pre-reformerer, en varmeveksler, som fordeler overskudsvarmen fra brændselscellerne til både rumopvarmning og varmt vand, samt en varmtvandsbeholder.

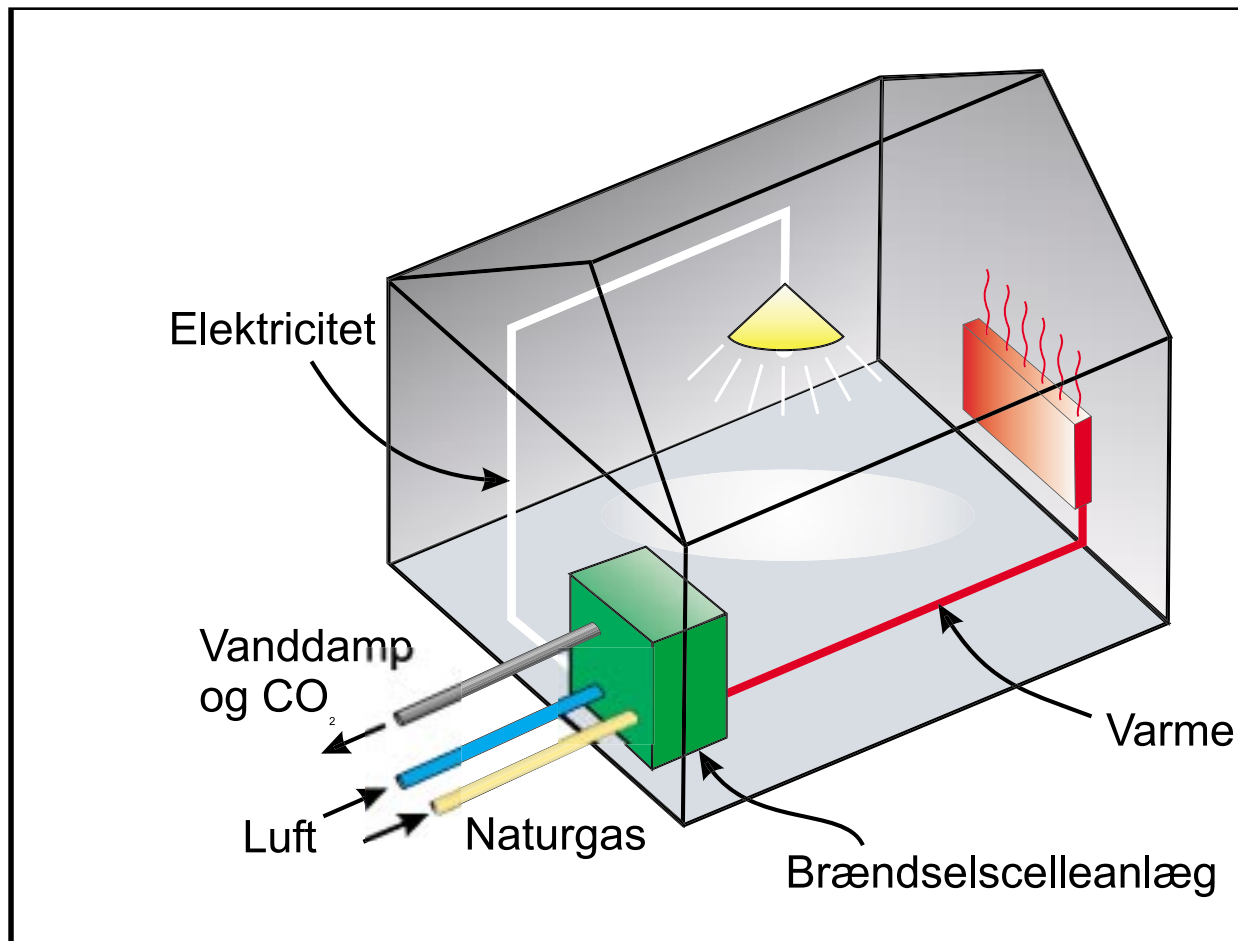
Supplering nødvendig

Under danske himmelstrøg kan det være nødvendigt at supplere med en indbygget naturgasbrænder til at give ekstra varme i meget kolde vinterperioder.

Netop områder som Danmark med et veludbygget naturgas-net er vel-

Steen Kristensen, Haldor Topsøe A/S, Peter Halvor Larsen, Risø og Niels Christensen, Haldor Topsøe A/S undersøger en plade elektrodemateriale fremstillet på Risøs nye produktionsanlæg til brændselsceller.





egnede markeder for den type brændselscelleanlæg.

Indtil videre satses der på at producere små brændselscelleanlæg, som kan producere energi til enkelte husstande og på sigt også til større boligkomplekser. Det vil dog vare ca. 10 år endnu, før de er modne til kommercielt salg.

Både celler og stakke skal videreudvikles noget, og hele anlæg skal demonstreres i større målestok over adskillige år.

Fra element til celle

Forskningen i brændselsceller blev oprindelig sat i værk, fordi en gruppe forskere sad inde med en stor viden om energimaterialer efter i mange år at have forsket i materialer til brændselselementer til atomenergi.

Da atomenergien udgik som forskningsområde, fandt de ud af, at deres viden kunne bruges til at forske i brændselsceller.

I 1987 startede Risø således sin forskning i brændselsceller, og i 1989 besluttede man at koncentrere sig om SOFC-cellen.

Ca. ti år efter var Risø blandt de bedste i verden med den danske SOFC-celle.

De samlede omkostninger ved udviklingen af denne nye effektive metode til produktion af strøm har over ti år kostet godt 200 millioner. Den igangværende fase af projektet slutter i 2006, hvor man regner med at have grundlaget for en egentlig produktion af brændselscellestakke til husstands anlæg.

Andre forsker også

Risø er dog ikke de eneste, der er langt fremme med brændselscelleteknologien.

Mens de flade danske brændselsceller er velegnede til både små og store anlæg, har flere internationale firmaer udviklet andre design specifikt til store kraftværker med effekter på mange megawatt.

Siemens-Westinghouse har med støtte fra EU og USA udviklet store rørformede brændselsceller, som i Tyskland og USA er på vej ind i et demonstrationsanlæg med en effekt på 1 megawatt.

Rolls-Royce fabrikkerne har udviklet et tredje design, hvor cellerne ligger som væltede dominobrikker i forlængelse af hinanden i et fladtrykt rør.

Også her er Risø en vigtig brik i udviklingen, idet 8 forskere og tekni- ►

Visionen er at erstatte et almindeligt villafyr med et brændselscelleanlæg, som kan give både strøm og varme. Systemet har ingen bevægelige dele. Anlægget kan fungere på naturgas, brint eller andet luftformigt brændsel.

kere på Risø forsker i og udvikler de specielle celler til Rolls-Royce. I samarbejde med Risø skal Rolls-Royce inden for de næste to år have færdigudviklet et demonstrationsanlæg på 20 kW.

Brintbiler

Brændselsceller kan dog også gøre transport til en miljøvenlig affære. En femtedel af verdens CO₂-udslip stammer fra transport.

Hvis alle biler blev udstyret med brændselsceller og elektromotorer, kunne de drives af brint, og eneste udstødning ville være vanddamp. På internationalt plan har flere store bilfirmaer i de senere år satset betydelige summer på udvikling af brintbiler.

Interessen blandt bilfirmaerne har især været rettet mod SPFC (Solid Polymer Fuel Cell), som arbejder ved ca. 100 grader, hvilket har sine fordele.

SPFC er dog ikke ligeså effektiv som SOFC, og de er endnu alt for dyre, og har for eksempel problemer med frost.

Interessen for SOFC til biler er derfor vokset meget i de seneste år, og for eksempel BMW har projekter i gang inden for dette område.

Strøm til køleanlæg i lastbiler og aircondition i traditionelle biler

fremstilles i dag ineffektivt ved brug af diesel- eller benzindmotoren.

SOFC-systemer kan være meget mere energieffektive, og dermed spare brændstof. På sigt kan brændselscellerne også benyttes til fremdrift i forbindelse med en elmotor.

Tryktanke problematiske

En stor udfordring i udviklingen af brændselscellebiler er selve tanken, da brint som bekendt er meget eksplosivt, og det er her Risøs indsats ligger i forhold til brændselscellebiler.

Forskerne satser på to lovende teknologier.

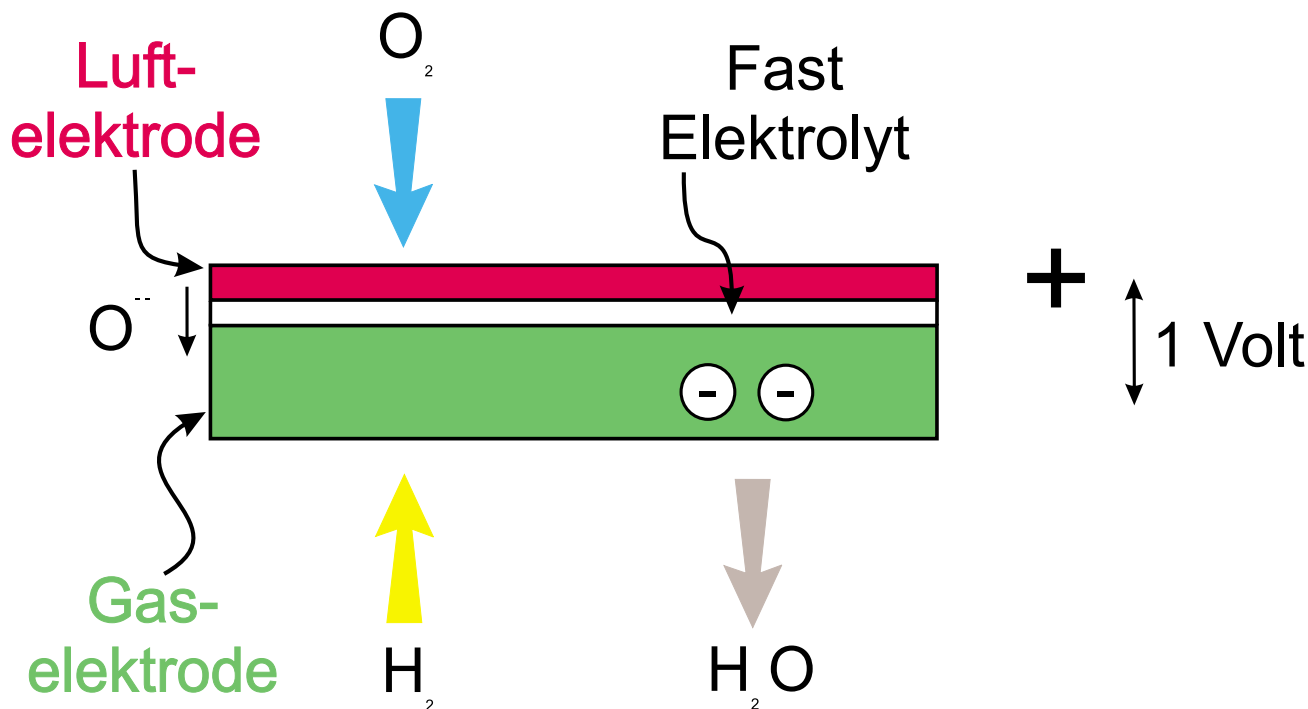
Den ene er anvendelse af metalhydrider, hvor man udnytter, at metaller kan gå i forbindelse med brint ved afkøling og frigive brinten ved opvarmning.

Ulemperne er stadig, at tankene fylder og vejer for meget, og Risø arbejder på at udvikle metalhydrider, som kan optage mere brint.

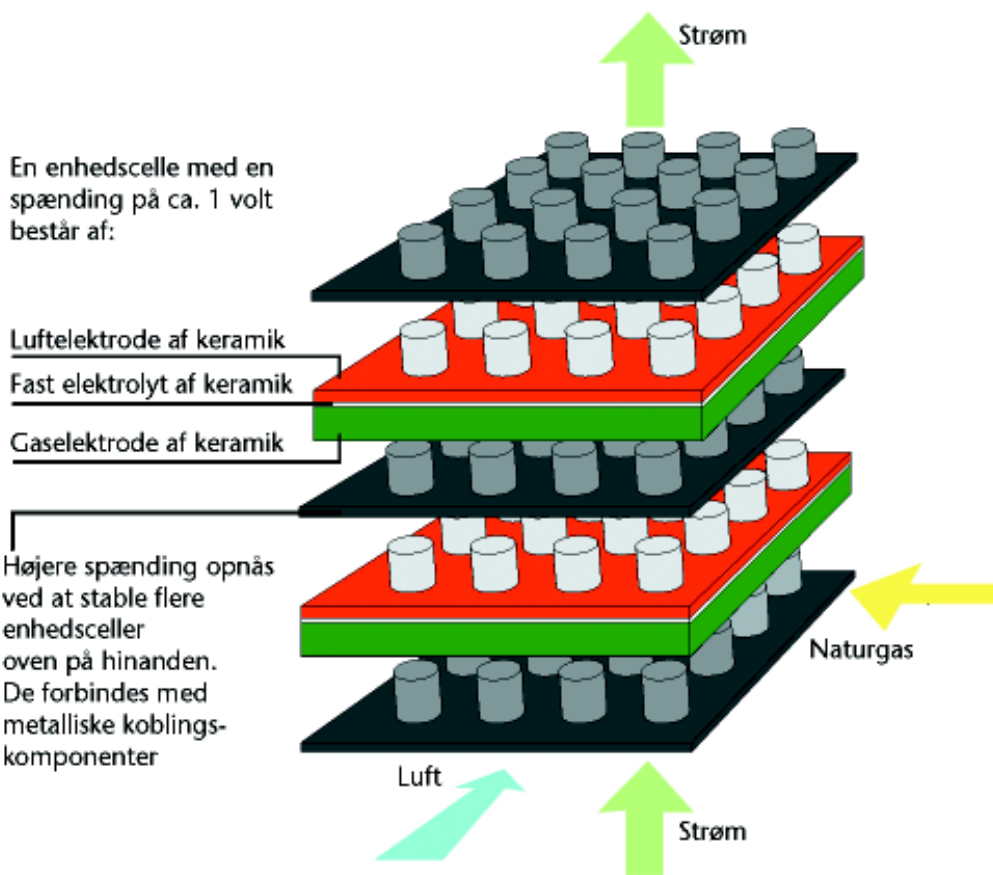
Til gengæld er sikkerheden stor, da brinten i tilfælde af en ulykke vil sive langsomt ud.

En anden mulighed Risø arbejder med, er lette tryktanke af et tyndt lag letmetal omviklet med fibre for at give den nødvendige styrke.

Princippet i en SOFC brændselscelle: Ved den positive luftelektrode (rød) reagerer luftens ilt med elektroner og danner negativt ladede iltioner, som vandrer gennem elektrolytten (hvid) over til den negative gaselektrode (grøn). Her reagerer iltionerne med gassens brint og danner vand, hvorved der frigives elektroner, som sendes på arbejde i el-nettet.



Portræt af en SOFC brændselscelle



Tryktanke kræver dog en høj grad af sikkerhed på grund af eksplosionsfaren.

Brintsamfundet

Brintsamfundet er en fremtidsdrøm, som kan blive til virkelighed, og hjertet i brintsamfundet er brændselscellen.

Her har bilerne støjsvage el-motorer, som forsynes med strøm fra brændselsceller, der omsætter brint, og udstødningen er vanddamp.

En stor del af el-forsyningen er baseret på CO₂-neutrale energiformer som vindmøller, biomasse og solceller.

Den ustabile el-produktion vil måske ikke længere være noget problem, for når det for eksempel blæser meget, og vindmøllerne laver overskud af strøm, udnyttes elektriciteten i en omvendt brændselscelle til at producere brint ud fra vand.

Brinten lagres i underjordiske lagre, som man i dag gør med naturgassen og kan senere omsættes til elektricitet i miljøvenlige kraftværker med brændselsceller.

Naturgas vil ikke længere blive brændt af på verdens oliefelter til ingen nytte.

I stedet omdannes gassen til flydende metanol, som kan transporteres hen til forbrugerne og omsættes til brint.

Mere forskning

Selv om brændselscelleteknologien er meget langt fremme, rækker den endnu ikke helt til at klare alle opgaverne i brintsamfundet.

Cellerne skal optimeres til at køre baglæns og spalte vand til ilt og brint ved hjælp af strøm.

Og teknologien til at lagre og transportere brint skal udvikles.

Forskere fra Risø har sammen med forskere fra Danmarks Tekniske Universitet, Århus Universitet samt Haldor Topsøe A/S og Danfoss netop modtaget 23,6 mio. kr. fra puljen til Større Tværgående Forskergrupper.

Bevillingen skal bruges til i løbet af de næste fire år at afklare, om det er teknisk og økonomisk muligt at realisere brintsamfundet inden for et par årtier. ★

Opbygningen af SOFC-stak: Den enkelte celle giver en spænding på ca. en volt. For at opnå den ønskede spænding serieforbindes cellerne i en stak, ved hjælp af metalliske koblingskomponenter (sorte). De små cylindre er elektronledende afstandsstykker. De er ca. en mm høje og gør det muligt for gassen at strømme hen til elektroden. Den enkelte celles tykkelse er i størrelsesordenen 0,25 mm, og det enkelte lag i cellen er fra 0,02 mm og opefter og er fremstillet af keramik, som er bestandig ved cellens driftstemperatur på 700-800 grader.

Eva Max Andersen er informationsmedarbejder på Risø.