

## Brændselsceller, en introduktion.

Af Jens Oluf Jensen, DTU og Erik Hennesø, Danish Power Systems ® (DPS)

### Hvad er brændselsceller?

Brændselsceller er elektriske batterier, der er karakteriseret ved, at de aktive materialer på elektroderne kan tilføres kontinuert. Ligesom andre i batterier bliver den kemiske proces opdelt i den reducerende del (katoden), hvor der tilføres luft eller ren ilt, og den oxiderende del (anoden), hvor brændstoffet er brint. Elektroderne er adskilt af en ionledende elektrolyt, der ofte er et fast stof. En enkelt celle giver normalt 0.5 - 1 Volt, og et batteri består derfor normalt af en stak celler, hvor den ene celledes katode er sammenbygget med næste celledes anode, osv. Brinten kan evt. fremstilles i en tilknyttet reformer ud fra methanol, naturgas eller andre simple organiske forbindelser; i nogle af brændselscelletyperne kan reformeringen foregå direkte på elektrodeoverfladen.

### Hvilke typer findes der?

De 5 vigtigste typer brændselsceller er (ordnet efter temperatur):

#### PEMFC

Proton Exchange Membrane Fuel Cell, også kaldet **PEFC** (Polymer Electrolyte Fuel Cell) eller **SPFC** (Solid Polymer Fuel Cell), har en fast protonledende membran som elektrolyt, og elektrode-materialerne er normalt kulstof med overtrukket platinkatalysator. Reaktionsligningerne ser således ud:

Anode:	$2 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$
Katode:	$\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
Totalreaktion:	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Hydrogenionerne passerer gennem membranen, og elektronerne går gennem det ydre kredsløb.

Membranen består i de fleste fabrikater af perfluorosulfonat, f.eks. Nafion®, der tillader et temperaturområde op til 120 °C. Membranen kræver befugtning af gassen, og styringen af denne samt varmetransporten er meget kritisk for denne type brændselsceller. Et yderligt problem er, at der ved de lave temperaturer kræves rensning af reformergassen for carbonmonoxid (CO, kulilte), som forgifter katalysatoren.

Danish Power Systems (DPS) har udviklet en ny type PEMFC med en membran, som kan arbejde ved temperaturer op til 200 grader. Ved denne temperatur er brændselscellen tolerant for CO-koncentrationer op til mindst 3 %. Der kræves ingen befugtning af gassen, og der kan opnås strømtætheder op til 1 Ampere/cm<sup>2</sup> ved 0.5 Volt, dvs. 0.5 Watt/cm<sup>2</sup>.

DPS udgave af PEMFC kan sammenbygges med en methanol-til-brint reformer, som kan arbejde ved samme temperatur. Reformeren får da direkte den nødvendige varmetilførsel fra brændselscellens spildvarme.

#### DMFC

Der forskes en del i Direct Methanol Fuel Cells (DMFC), som udmærker sig ved at kunne reformere methanolen direkte på anodeoverfladen ved anvendelse af passende katalysatorer (Pt-Ru-Sn-W /C). Membranen er normalt Nafion® (perfluorosulfonat); iøvrigt er opbygningen analog med PEMFC beskrevet ovenfor. Der er både beskrevet brændselsceller med gasflow og med væskeflow, hvor methanolen findes som 2 molær i fortyndet svovlsyre, evt. med additiver.

DMFC har en række fordele: Simplere opbygning af systemet, ingen giftig emission, eliminering af reformeren, og for systemer med væskeflow: Eliminering af brændselsfordamper og befugtningssystem. Der er dog også en række ulemper: Den maximale strømbelastning af elektroden ( $\text{Ampere}/\text{cm}^2$ ) er lavere end for PEMFC, og methanolen diffunderer gennem membranen og nedsætter kapaciteten på katodesiden. I gasflow-udførelse skal der via befugter tilføres betydelige mængder vand til anoden. Alt i alt skønnes systemet ikke at kunne konkurrere med DPS sammenbygning af PEMFC og reformer.

### PAFC

Phosphoric Acid Fuel Cell har en separator med phosphorsyre som elektrolyt. Elektrodematerialerne er også her kulstof overtrukket med platinkatalysator. Brændstoffet skal være brint, og eventuelle andre brændstoffer skal derfor først omdannes til brint. Temperaturområdet er  $150 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ . Fælles for de to brændselscelletyper er, at elektrolytten er protonledende (hydrogenionledende), således at reaktionsproduktet vand dannes på katodesiden. Forskningen er gået noget i stå, idet typen af mange betragtes som forældet. Den findes i kommercielle udgaver i området  $50\text{ kW} - 10\text{ MW}$  (elektrisk) til nødstrømforsyninger og lignende, medens små anlæg ikke er særligt udbredte.

PAFC benytter ren brint som brændstof, men tåler  $\text{CO}_2$  samt mindre mængder  $\text{CO}$  ( $<1\%$ ). Der kræves derfor som ovenfor en reformer som forsats ved anvendelse af andre brændstoffer end brint. Den reformerede gas skal indeholde under  $1\%$   $\text{CO}$  og under  $1\%$  uforbrugt methanol.

### MCFC

I Molten Carbonate Fuel Cell er elektrolytten smeltet kalium-lithium-carbonat ved temperaturer omkring  $650\text{ }^\circ\text{C}$ . Elektroderne består af porøst nikkel og nikkeloxyd. Ionoverførselen i elektrolytten foregår som carbonationer, og det er derfor nødvendigt at tilføre  $\text{CO}_2$  til katoden, også i tilfælde hvor brændselet producerer  $\text{CO}_2$  på anoden. Der findes kommercielle anlæg egnet til varmecentraler i boligkareer og lignende.

### SOFC

I Solid Oxide Fuel Cell er elektrolytten ofte  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -doteret  $\text{ZrO}_2$ . Anoden er ofte  $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ -keramik med nikkelpulver, og katoden er  $\text{LaMnO}_3$  doteret med  $\text{SrO}$ . Delene er sammenkittet til en keramisk enhed, der arbejder ved  $700 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ . SOFC (og MCFC) udmærker sig ved (med passende katalysatorer) at kunne forbrænde naturgas og diverse organiske stoffer direkte samt at have høje virkningsgrader, men er næppe egnet til mobile anlæg.

## Hvordan med miljøet?

Brændselsceller bruger primært brint som brændstof, og produktet er i så fald rent vand. Eksempelvis blev benyttet en brændselscelle som strømforsyning til månerejserne, og vandet blev benyttet til drikkevand. Der forskes stadig meget i brintteknologi, specielt alternativer til de tunge stålflasker til transport og opbevaring af brint. Hvis brinten fremstilles ved elektrolyse af vand på et sted med overskudsenergi fra en vedvarende energikilde, er systemet som helhed forureningsfrit.

Brinten kan også fremstilles ud fra naturgas, et olieprodukt eller kul, eventuelt via et mellemprodukt f.eks. methanol (træsprit). Det kan gøres på et større anlæg eller i en reformer i direkte tilknytning til brændselscellen, hvor dennes spildvarme kan bruges. I enkelte tilfælde kan reformeringen ske direkte på elektrodeoverfladen, specielt methanol-til-brint. SOFC-typen tillader naturgas-reformering direkte på elektrodeoverfladen.

Hvis brinten skal fremstilles ud fra naturgas, et olieprodukt eller kul, er der tale om 2 slags forurening:

(1) De pågældende produkter indeholder kulstof, og for hvert kulstofatom vil der dannes 1 molekyle  $\text{CO}_2$  (kuldioxid), som bidrager til drivhuseffekten, uanset om brændslet bliver brændt i et traditionelt kraftværk, i en bil eller via en brændselscelle. Der kan dog være fornuft i at bruge brændselsceller p.g.a. den forbedrede virkningsgrad, således at der bruges færre gram brændstof til at producere en given mængde elektricitet.

(2) Brændslerne kan indeholde urenheder, og ved reformeringen kan dannes kulilte og evt. kvælstofilter. Mængderne er dog normalt lavere end fra en forbrændingsmotor. Hvis reformeringen sker adskilt fra brændselscellen, kan man med en vis ret hævde, at sidstnævnte er forureningsfri. F.eks vil det være en klar miljømæssig fordel i byområder at køre med elektriske biler drevet af brint (eller methanol) via brændselsceller, selv om brændstoffet er fremstillet andetsteds med en vis forurening til følge.

## **Yderligere oplysninger**

*Danish Power Systems (DPS) er et privat konsultations- og produktionsfirma inden for kemi og elektrokemi med laboratorier på Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Blandt andet har firmaet stor ekspertise angående membraner og elektroder til brændselsceller. Yderligere oplysninger kan fås på [daposy@daposy.dk](mailto:daposy@daposy.dk).*

## **Biografi**

*Jens Oluf Jensen er civilingeniør fra DTU og Ph.D. i elektrokemi (1997). Han er lektor på DTU med speciale i brændselsceller og brintlagringsteknologi.*

*Erik Hennesø er civilingeniør fra DTU og Ph.D. i elektrokemi (1976) og har 40 års industriel- og universitetserfaring inden for batterier og brændselsceller. Han er en af stifterne af Danish Power Systems.*