

# Bränslecellen

- och dess utveckling

ENERGIFYSIK B

Fredrik Qvillberg

Hannes Hellsborn

31 maj 2005  
Göteborgs Universitet

## **Abstract**

The first fuel cell was built early in the 19th century. In this time the strong relations between physics and chemistry had not yet been developed and therefore it took more than half a century to determine how this new device actually worked. During the two world wars much research was put on hold because of pro-war science for many years and the interest for fuel cells was waken later, in the middle of the 20th century. During the last fifteen years the research has expanded more quickly and big corporations e.g. GM, Volkswagen and Siemens has finally found it benetficial to develop fuelcell technology.

Today the fuel cells main fuel is hydrogen. Hydrogen is quite cheap and can interact with oxygen to form water which makes it a perfect fuel for the cells. The goal with fuel cell technology is to make cells without any problematic outlets, that are cheap, work under low temperature and give high power. PEM fuel cells fits in on this description except for the price (which no fuel cell does today) and the power. Because this cell type uses only hydrogen and air its waste is only water. It is thought that this type of cell will be used in the fuell cell cars that are beeing developed. It is also believed that future fuel cell technology will replace many electrical needs, e.g. powerplants and batteries, much cleaner and maybe even with higher efficiency than todays recources.

# Innehåll

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                    | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Bakgrund</b>                     | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Hur fungerar en bränslecell?</b> | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Celltyper</b>                    | <b>6</b>  |
| <b>5</b> | <b>Dagens läge</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>6</b> | <b>Framtiden</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>7</b> | <b>Avslutning</b>                   | <b>9</b>  |
| <b>8</b> | <b>Källförteckning</b>              | <b>10</b> |
| 8.1      | Texter . . . . .                    | 10        |
| 8.2      | Bilder . . . . .                    | 10        |
| 8.3      | Tabeller . . . . .                  | 10        |

# 1 Inledning

Bränsleceller har funnits länge men är just nu mer aktuellt än någonsin. Utvecklingen går framåt och förhoppningsvis kommer denna uppfinning att bli framtidens nästa stora energiomvandlare. Denna rapport skrevs med avseende att väcka intresse och nyfikenhet hos dig som läser den. Trots att texten inte är djupgående vill vi för dig skapa ett intresse för vidare läsning. Då du läst rapporten hoppas vi att din bild av bränsleceller har blivit mer positiv och att du nu förstår varför vi förespråkar denna uppfinning.

Rapporten är strukturerad efter tre olika punkter vilka har styrt texten.

- Bakgrunden till bränslecellstekniken.
- Dagens utformning och användningsområden.
- Utveckling och framtid för bränsleceller.

I rapporten förklaras bränslecellernas uppbyggnad och användningsområden i dessa tre olika perspektiv och i avslutningen jämförs för- och nackdelar hos bränsleceller. Länkar till vidare läsning för den som är mer intresserad återfinns i källförteckningen längst bak i rapporten.

# 2 Bakgrund

Den första bränslecellen lär ha byggts 1839 av wealsaren sir William Grove. Det var tidigare känt att det var möjligt att dela upp syre och väte genom att låta en elektrisk ström gå genom vatten. Grove visade nu att det även gick att köra denna process baklänges. Han skapade något som han kallade ett "gasbatteri" vilket gick på syrgas och vätgas där han använde sig av två elektroder med ena änden i svavelsyra ( $H_2SO_4$ ) och andra änden i syre (O) och väte ( $H^+$ ). Genom dessa elektroder gick då en ström och i vardera behållare bildades vatten ( $H_2O$ ). Många forskare och vetenskapsmän diskuterade hur denna process kunde fungera men eftersom varken kemister eller fysiker hade träffat på detta fenomen tidigare dröjde det drygt femtio år innan någon gav en någorlunda bra förklaring till detta. Det var Friedrich Wilhelm Ostwald som med hjälp av kemisk fysik lyckade förklara hur det hela hängde ihop. Hans upptäckter lade också grunden till den bränslecellsforskning som pågår idag. Utvecklingen gick därefter framåt om än dock långsamt. Detta kan ha berott på att bränslecellstekniken hamnade i skuggan av industrialismens framfart samt två världskrig. Eftersom det nu var kol och olja som gällde hamnade bränslecellerna i skuggan av dess expanderande marknad.

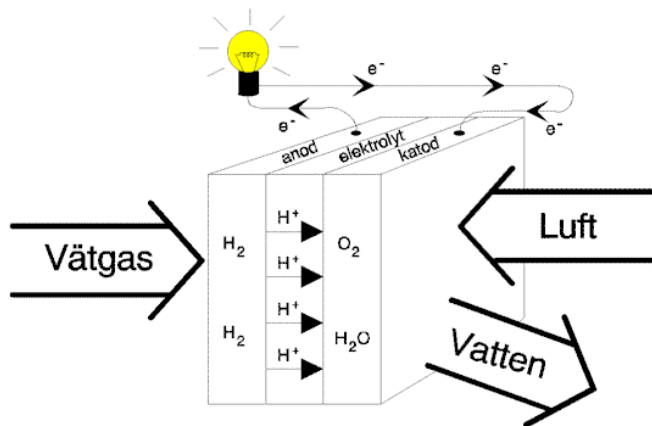
Det riktiga intresset för bränsleceller utvecklades först under 1960-talet. Under denna period blev bristerna hos de fossila bränslena uppmärksammade och forskning kring nya energiresurser tog fart. År 1958 fick Francis Thomas Bacon vetenskapsvärlden att höja på ögonbrynen när han presenterade en alkalisk bränslecell med kaliumhydroxid (KOH) som elektrolyt. De tidigare cellerna hade innehållit starka syror som elektrolyt och med den alkaliska bränslecellen slapp man nu problemen med den mycket snabba korrosion som de haft med syror. Trots att de alkaliska cellerna var ovanligt dyra att tillverka var de stabila och kom senare till användning i rymdskepp ur Apolloserien.

Trots detta "ryck" utvecklades bränslecellerna inte tillräckligt snabbt och kärnkraften blev nu istället primärmålet för framtida utbyggnader inom energisektorn. Kärnkraftsteknologin utvecklades mycket

och återigen hamnade bränslecellen bakom. Idag kan man dock skåda en ändring i trenden i och med att en mer negativt inställd attityd till dagens energikällor bildats. Priser och storlek på bränsleceller är också på väg neråt vilket, spekuleras i, är början på bränslecellernas verkliga kommersiella genombrott.

### 3 Hur fungerar en bränslecell?

Bränslecellen används för att omvandla kemisk energi till elektrisk energi. Bränslet kan bestå av t.ex. vätgas ( $H_2$ ), metanol ( $CH_3OH$ ) eller etanol ( $C_2H_5OH$ ). Oxidationsmedlet är oftast luft. Om bränslecellen drivs av väte och luft består avgaserna endast av vatten. När väteatomer och syreatomer reagerar medför det en reaktion i form av en elektrisk ström. Bränslecellerna seriekopplas i så kallad "stacks" för att få tillräckligt hög spänning.



Figur 1: Bränslecellens uppbyggnad. Vätgas når anoden och splittras till vätejoner och elektroner. Jonerna diffunderar genom elektrolyten vidare till katoden medan elektronerna tar vägen genom den externa ledaren. I katoeden slås dessa komponenter samman med syre och bildas vatten vilket, i detta fall, är det enda utsläppet.

En bränslecell har en ganska enkel konstruktion (se figur 1). Bränslet (väte) förs in i cellen och kommer först till anoden. Anoden innehåller en katalysator som joniserar väteatomen till två vätejoner ( $2H^+$ ) (protoner) och två elektroner. Därefter diffunderar de positivt laddade vätejonerna framåt genom elektrolyten vilken, i PEM-celler, består av en porös polymer som är liten och lätt samt fungerar bra vid låg arbetstemperatur. Elektrolyten är gjort på det sätt att det varken släpper igenom andra, stora partiklar eller elektroner. Elektronen kommer därför inte genom och tar istället den andra vägen, genom en extern ledare. På detta sätt genereras det alltså en elektisk ström. I katoden återförenas elektronerna, protonerna och syre från den tillsatta luften. Dessa förenas och bildas vatten vilket, i PEM-cellerna, är den enda "slaggprodukten". Det finns många andra typer av bränsleceller. Konstruktionen på dessa är i stort sett densamma som PEM-cellen. Det som skiljer dem åt är elektrolyten och/eller bränslet. En mycket positiv fördel med bränsleceller är effektiviteten. Eftersom det är en kemisk process "lyder" den inte under termodynamikens lagar och kan ha en mycket hög verkningsgrad. PEM-cellerna har dock endast "40-60"% verkningsgrad.

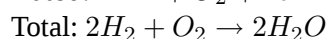
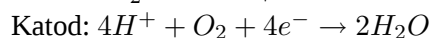
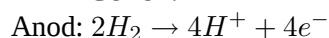
## 4 Celltyper

Bränslecellen defineras av den elektrolyt och det bränsle som används. Om man har temperaturen som utgångspunkt finns tre kategorier av celler, nämligen hög-, medel- och lågtemperaturceller (HT, MT, LT). HT har en god reaktionskinetik, men de höga temperaturerna ger stora korrosionsproblem. LT kräver dyra katalytiska elektroder (t.ex. Platina), men har få materialproblem. Bränslecellerna kan delas in i fem olika typer (se Tabell 1).

Tabell 1: Karakteristisk data för olika typer av bränsleceller

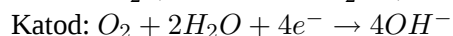
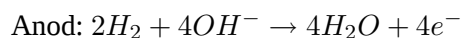
| Celltyp                   | Arbetstemperatur (°C) | Elektrolyt           | Bränsle  | Verkningsgrad |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------|---------------|
| PEM-cell                  | 60-90                 | Polymeriskt material | $H_2$    | 40-60 %       |
| Alkalisk cell             | 150-200               | Flytande $KOH$       | $H_2$    | 47-57 %       |
| Fosforsyracell, PAFC      | 150-200               | Fosforsyra           | $H_2$    | 42-60 %       |
| Fastoxidbränslecell, SOFC | 650-1000              | Zirkoniumoxid        | $H_2$    | 60-61 %       |
| Smältkarbonatcell, MCFC   | 650                   | Alkalikarbonater     | Kolväten | 45-60 %       |

### PEM-Cellen:



Elektrolyten "Proton Exchange Membrane" eller "protonutbytesmembran" består av en polymer vilken oftast är en sulfonerad polystyren. Membranet släpper igenom protonerna, men tvingar elektronerna att ta vägen via en yttre krets och därmed produceras elektrisk ström. Denna celltyp är renast av alla bränsleceller och dessutom mest flexibel. Teknikutvecklingen för PEM-celler syftar i första hand till att höja drifttemperaturen för att därigenom göra systemen mer tillförlitliga och kostnadseffektiva. Kostnaderna för cellerna har sjunkit dramatiskt från över 80 000\$ per kWh (kilowatt per timme) för 20 år sedan till dagens 2000\$ per kWh. Denna cell utvecklas för användning i bilar, bussar och andra fordon.

### Alkalicellen:



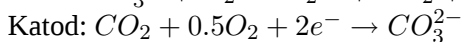
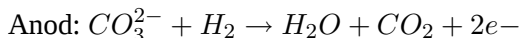
Denna har en stark bas som elektrolyt vilket oftast är en kaliumhydroxidlösning. Arbetstemperaturen är runt 150-200 °C och den arbetar i komprimerat väte och syre. I denna cell är det hydroxidjonerna  $OH^-$  som rör sig parallellt med elektronerna. Alkalicellen är den äldsta cellen och användes bl.a. i NASAs rymdprogram på 60-talet.

### Fosforsyracellen:

Dess reaktion är samma som PEM-cellen men elektrolyten är utbytt till fosforsyra som är insugen i ett membran. Denna har fått mest kommersiell framgång bland cellerna och lämpar sig även för kraftverk. Arbetstemperaturen är 150 - 200 °C och fördelen med fosforsyran är att den kan arbeta över vattnets kokpunkt till skillnad från de celler som kräver vatten i elektrolyten. En annan fördel är att

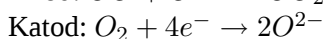
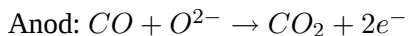
den tål kolmonoxid bättre än många andra celler som lätt kan bli förstörda av detta. Verkningsgraden är 40 - 60 % men kan bli upp till 80 % om spillvärmen återanvänds.

Karbonatcellen:



I denna cell är det karbonatsalt som tjänar som elektrolyt och arbetstemperaturen är ca. 650 °C. Saltet smälter och leder karbonatjoner från katoden till anoden och vid anoden reagerar väte med karbonatjonerna och producerar vatten, koldioxid och elektroner. Högtemperatur MCFCs kan använda väte från en variation av bränslen. De är dessutom mindre känsliga för kolmonoxidförgiftning än vad celler med lägre arbetstemperatur är vilket gör "kallbaserade" bränslen mer intressanta för denna typ av celler. Karbonatcellen har en verkningsgrad upp till 60 % men kan, likt fosforsyracellen, ökas till 80 % om spillvärmen återanvänds. Det finns två stora problem med karbonatsmälta. Ett är komplexiteten med att arbeta med en vätskeelektrolyt istället för en i fast form. Det andra är den kemiska reaktionen som sker innuti cellen där anodreaktionen också tar karbonatjoner vilket gör det nödvändigt att injicera koldioxid vid katoden. Karbonatcellen är mest lämpad för kraftverk och för ökad effekt kopplas många celler ihop. En fördel är att karbonatcellen kan ha många typer av bränsle, dock främst naturgas.

Fastoxidcellen:



Fastoxidcellen kan också använda olika bränslen som t.ex. koloxid (CO), väte och metan (CH<sub>4</sub>). P.g.a. dess höga arbetstemperatur, upp till 1000 °C lämpar sig denna bäst i kraftverk. Fastoxidkraftverk finns bl.a. i Japan. Som elektrolyt används zirkoniumoxid.

## 5 Dagens läge

Runt om i världen ökar forskningsinsatserna för bränsleceller. Dock ligger de statliga projekten i många länder efter företagsforskningen. Störst hopp sätts på dessa företag som har makten att utveckla apparater med dessa system och sprida dem när de helst vill. De statliga intressena handlar troligtvis mest om storskaliga bränslecellsaktioner som t.ex. kraftverk. Detta kan göra att forskningsteamet glider ifrån varandra på längre sikt. För att på bästa sätt få en snabb utveckling borde större statliga medel skjutas in i företagsforskningen och mer pengar också läggas på samarbetet mellan företag och statliga medel.

Energimyndigheten i Sverige finansierar just nu ett FoU-program kring bränsleceller för energiproduktion. Programmet avser både elementär forskning på högskolan och tillämpad forskning, i samarbete med industrin. Målet är att öka kompetensen inom högskola och näringsliv så att bränsleceller på ett effektivt sätt kan komma in i energisystemet. I programmet deltar även IEA (International Energy Agency) advanced Fuel Cells. FoU-programmet pågår 2002-2005 med en budget på 36 miljoner kronor. Energimyndigheten ger stöd till det s.k. "Glashus Ett" i Hammarby sjöstad tillsammans med Stockholms lokala investeringsprogram (LIP). Projektet genomförs under 2001-2005 och är ett samarbetsprojekt mellan ABB och Fortum med syfte att demonstrera och utvärdera ett alternativt

energisystem med solceller, elektrolysör, vätgaslager, bränslecellsystem och kontrollsystem. Energi-myndigheten är även involverade i ett forskningsprogram "Energisystem i vägfordon" för att utveckla batterier, elmotorer, bränsleceller och förbränningsmotorer anpassade för hybridfordon. Alternativen som idag är mest utvecklade är hybridfordon eller fordon som drivs med bioproducerade drivmedel, t.ex. biogas eller bioetanol. På sikt kommer bränsleceller bli en potentiellt alternativ. Idag driver flera bilföretag forskning kring bränsleceller och p.g.a. sina goda miljöegenskaper kommer cellerna att allt mer dominera inom fordonsindustrin.

## 6 Framtiden

Kortsiktigt kommer bränslecellsapplikationer i form av stationära lösningar först bli lönsamma. På medellång sikt räknar man med att den portabla användningen kommer att vara lönsam, medan användningen i fordon får vänta betydligt längre (till 2010 enligt de mest optimistiska) innan någon storskalig marknadsintroduktion kan ske. Lätta celler för portabla tillämpningar kommer i vissa fall ersätta batterier eftersom de har lägre vikt per energienhet. Dessa lätta celler kan vara t.ex. DMFC (Direct Methanol Fuel cell) eller PEM och är aktuella inom utvecklingen för bärbara datorer och mobiltelefoner. Även de försöksbussar som rullar i Stockholm använder dessa. Det viktiga med mobila lätta celler är att de har låg arbetstemperatur och tar liten plats. De celler med högre arbetstemperatur t.ex. SOFC och MCFC är mycket mer anpassade för kraftverksanvändning och kanske tyngre fordon som t.ex. lok och skepp.

Den användning av bränsleceller som de flesta hoppas på är troligtvis i motordrivna fordon. Idag finns inte fler än några få aktivt använda fordon i världen. För tillfället kostar de oerhört stora pengar men priserna sjunker konstant och inom inte allt för lång tid kan det vara möjligt att ha råd med en bränslecellsdriven bil. Dock är det inte kostnaden för själva fordonet som kommer att bli problemet. Det är omkostnaderna och det faktum att det faktiskt är mycket smidigare att använda sin bensindrivna bil. Utbyggnaden av vätgastappar och vätgaskällor är idag istort sett obefintlig. Även om fordonstillverkarna utvecklar billiga bilar med billig service kommer det trots detta att ta mycket lång tid och mycket stora resurser att bygga ut tillgängligheten på bränsle.

Alkalicellerna är de celler som varit aktivt använda längst. Dock är dessa inte aktuella för användning på jorden utan endast i rymden. Detta beror på att alkalicellernas elektrolyt förstörs vid kontakt med koldioxid ( $CO_2$ ). Att hålla bort koldioxid från denna process är mycket opraktiskt vilket gör att alkalicellen troligtvis kommer försvinna från markanden inom en snar framtid. PAFC-cellen är just nu aktuell i kraftverk och kommer troligtvis inte spridas till andra tillämpningsområden. Den är mycket stor p.g.a. att den inte ger särskilt hög energi per kilo och kan inte arbeta i alla temperaturer utan måste förvärmas upp till  $100^\circ C$ . Dessa egenskaper utesluter den från t.ex. bilar, telefoner och andra mobila apparater. Många celler kommer inom kort tid att uteslutas från framtidsplanerna men eftersom utbudet på olika celler är såpass stort kommer detta inte skapa någon förändring i utvecklingen.

I det stora hela har bränsleceller en mycket ljus framtid. De kan använda många olika bränslen och användas på, i stort sett, alla användningsområden. Utvecklingen har fortfarande inte kommit tillräckligt långt för kommersiellt bruk och när den väl har gjort det kommer bränslecellerna vara mycket mer effektiva och anpassade till vårt samhälle än de är idag.

## 7 Avslutning

Bränsleceller är ett intressant koncept att använda i b.l.a. fordon, för att på så vis få ner t.ex. utsläppen. Med tanke på att tekniken blir billigare och kan bli kommersiellt försvarbar kan det vara ett komplement till en ny "grönare" energipolitik. Prognosen att tekniken kommer vara applicerbar i fordonsindustrin ca. 2015 bådär gott. Bäst lämpad är framförallt de celler vilka har låg arbetstemperatur och bara vatten och värme som "avgaser". Ett problem är dock att bränsleceller som har en hög arbetstemperatur får en del problem med materialet (korrosion o.d.). För vissa celler är problemet istället dyra materialkostnader, då främst platina används. Önskvärt hade det varit om man bytt ut det mot billigare material. Med portabla tillämpningar kan t.ex. mobiltelefonerna fås ännu mindre, på både gott och ont. Det finns en rad områden bränsleceller kan användas i vilket gör dem mycket flexibla. Det faktum att grundmekanismen är densamma i alla bränsleceller gör att forskningen blir mycket lönsam då resultat nås.

Allt som allt är bränsleceller ett mycket lönsamt projekt där de problem som hittills har uppstått kan rättas till utan allt för stora problem. Framtiden för dem ser ljus ut i alla perspektiv förutom för kanske Statoil, OPEC och en och annan oljemagnat. Ytterligare en fördel som gör bränslecellerna till en bra satsning är det låga arbetsljudet. I London har en taxi med bränsleceller testats och det engelska polisväsendet har nu fått smak på bränsleceller och visionen att få så tysta polisbilar att de kan smyga sig på brottslingar utan att ens lämna bilen.

## **8 Källförteckning**

### **8.1 Texter**

#### **Referenser**

- [1] <http://www.fuelcells.org/basics/how.html>
- [2] <http://americanhistory.si.edu/fuelcells>
- [3] <http://www.seca.doe.gov/pubs/4-fuelcell.pdf>
- [4] <http://www.fy.chalmers.se/electrophysics>
- [5] <http://www.ford.com>
- [6] <http://www.fuelcells.org>
- [7] <http://www.h2forum.org>
- [8] <http://www.keelynet.com/energy/tinyfuel.htm>
- [9] <http://www.seca.doe.gov/pubs/4-fuelcell.pdf>
- [10] <http://www.fuelcells.org/info/pubs.html#FreePubs>
- [11] <http://arbis.arb.ca.gov/msprog/zevprog/fuelcell/kalhammer/techreport/techreport.htm>

### **8.2 Bilder**

#### **Referenser**

- [1] <http://www.fy.chalmers.se/electrophysics>

### **8.3 Tabeller**

#### **Referenser**

- [1] [http://www.h2forum.org/Fakta\\_om\\_vate/bransleceller.htm](http://www.h2forum.org/Fakta_om_vate/bransleceller.htm)