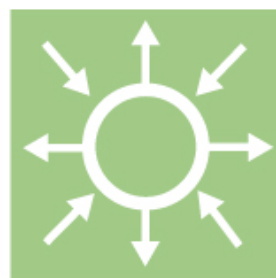




Polymera bränsleceller (PEMFC)

Teknikbevakningsrapport 2009

Elforsk rapport 10:57



Rakel Wreland, Lindström, Lars Hildebrandt, Göran Lindbergh, Maj 2010

Polymera bränsleceller (PEMFC)

Teknikbevakningsrapport 2009

Elforsk rapport 10:57

Rakel Wreland, Lindström, Lars Hildebrant, Göran Lindbergh, Maj2010

Förord

Denna rapport är framtagen inom projektet Teknikbevakning av bränslecellsområdet under 2009 (Elforsk projektnummer 20009). Rapportens huvudsakliga slutsatser presenteras i en slutrapport för hela teknikbevakningsprojektet (Elforsk rapport 10:01).

Projektet har till största delen finansierats av Energimyndigheten. E.ON Sverige, Volvo, Vätgas Sverige och FMV har bidragit med egeninsatser.

Stockholm maj 2010

Bertil Wahlund

Programområde EI- och värmeproduktion

Sammanfattning

Sju internationella konferenser och workshops har under 2009 bevakats¹ i syfte att följa teknikutvecklingen av polymerbränslecellen både med fokus på den vetenskapliga och den kommersiella utvecklingen. Liksom förra året är intresset stort för bränslecellens uthållighet och livslängd. Stort fokus ligger på att finna metoder för att kunna studera livstidsbegränsningar som dels beror på materialens beständighet vid olika driftförhållanden och dels på yttre faktorer som bränslets kvalitet. Även komponentutvecklingen går framåt med fokus på ökad aktivitet och ökad stabilitet. Här märks även en utveckling hos de kommersiella producenterna, med Johnson Matthey och 3M.

Fortfarande sker den mest omfattande utvecklingen av PEFC internationellt inom fordonsindustrin i företag som Honda, Toyota, GM och Daimler, med fokus på framdrift och med vätgas som bränsle, men små stationära bränslecellssystem för bostäder (residential) och back-upsystem för bl a telestationer är branscher som växer, framförallt i USA, Japan och Tyskland.

¹ 1. "7th Spring meeting of the International Society of Electrochemistry", 22-25 mars 2009, Szczyrk, Polen.

2. "215th Electrochemical Society Meeting", 24-29 maj 2009, San Francisco, USA.

3. "International Symposium on Diagnostic Tools for fuel cells technologies – revealing the state of health of fuel cells", 23-24 juni 2009, Trondheim, Norge.

4. "International workshop on the effects of fuel and air quality to the performance of fuel cells", 9-11 september 2009, Berlin, Tyskland.

5. "216th Electrochemical Society Meeting", 4-9 oktober 2009, Wien, Österrike

6. "Fuel Cell Seminar & Exposition", 17–22 november 2009, Palm Springs, USA.

7. "Hydrogen and Fuel Cells in the Nordic Countries", 24-26 november 2009, Oslo, Norge.

Summary

Seven international meetings and workshops have been attended in order to follow the advances in the polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) development both with focus on the scientific and the commercial progress.

A clear trend on all conferences is an increasing interest and larger research funding addressing the stability and durability of the fuel cells. Factors influencing the catalyst, the support and the membrane electrolyte in different running conditions are intensively studied. Also new materials for catalyst, support, membrane and bipolar plates are investigated. As a consequence of a nearby commercialization, new demands for specifications on service times push the development forward for common testing protocols, ageing procedures and appropriate accelerated test methods.

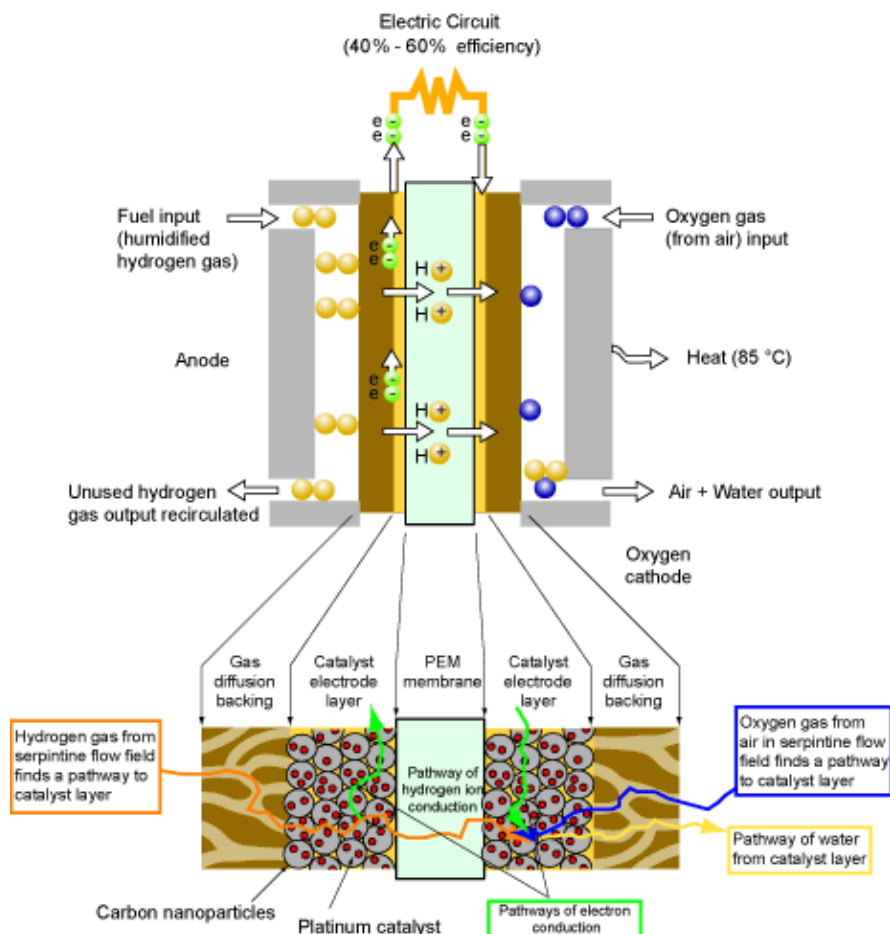
The most extensive international developments of PEMFC is today driven by the automotive industry in companies such as Honda, Toyota, GM and Daimler, with focus on propulsion using hydrogen as fuel. A commercial break through has taken place this year in certain niche markets such as small residential units as well as auxiliary power units for back-up electricity and non-interruptible power for instance for telecom stations.

Innehåll

1	Beskrivning av PEFC-tekniken	1
2	PEFCs utveckling	3
2.1	Komponentutveckling.....	3
2.1.1	Elektrodena - Katalysatorer och bärare	3
2.1.2	Membran	5
2.1.3	Gasdiffusionsskikt (GDL) och Bipolära plattor (BPP).....	6
2.2	Bränslecellsystem	7
2.2.1	Livslängd - Uthållighet	7
2.2.2	Systemintegrering och robusthet	8
2.2.3	Bränslekvalitet	8
2.3	Kommersiell utveckling	9
2.3.1	Stationära tillämpningar	10
3	Svenska satsningar	11

1 Beskrivning av PEFC-tekniken

En bränslecell omvandlar kemisk energi till elektrisk energi genom att ett energirikt bränsle (vanligen vätgas, enkla kolväten eller alkoholer) oxideras i närvaro av en katalysator vid anoden och en oxidant (vanligtvis luft eller syre) reduceras till vatten vid katoden, också mha en katalysator. Anod och katodreaktionerna sker vid olika potentialer vilket ger upphov till en cellspänning och en elektrisk ström i kretsen mellan elektroderna. I polymerelektrolytbränslecellen (PEFC eller PEMFC), som visas i en schematisk skiss i figur 1, består vanligen både anod- och katodelektroder av en porös bädd av platinabaserade nanopartiklar, oftast deponerade på en kolbärare



(Pt/C). Elektroderna separeras av en protonledande fastelektrolyt, ett membran som typiskt är uppbyggt av sulfonerade och perfluorerade polymerer (Nafion). För vätejonledningen måste membranen även innehålla vatten.

Figur 1. Schematisk bild av en polymerelektrolyt-bränslecell.

Utöver membranet och elektroderna, ett sk MEA (Membrane Electrode Assembly), är integrerade strömtilledare (bipolära plattor med gasdistributionskanaler) och ledande gasdiffusionsskikt viktiga komponenter för att transportera gasen, vattnet, och strömmen till och från elektroderna på ett effektivt sätt. I en bränslecellsstack staplas många enskilda celler till ett cellpaket, där den elektriska strömmen seriekopplas, medan gasflödena kopplas parallellt. Varje enskild cell har en cellspänning på 0,7-0,8 V, och kan belastas med strömtätheter på 0,5-2 A/cm², vilket ger praktiska effekttätheter på över 1 W/cm². Antalet celler bestämmer cellspänningen och elektrodarean (mängd katalysatoryta) i cellen bestämmer totalströmmen i stacken.

På grund av membranens fuktberoende är PEFC:s arbetstemperatur oftast under 100 °C. Eftersom även värme bildas i cellen måste stacken i regel kylas, detta via kylvattenkanaler i de bipolära plattorna. För mycket små system (< 1 kW) kan det räcka med passiv kylning eller med luftkylning.

Som bränsle omvandlas ren vätgas mest effektivt till elektricitet, med mycket små energiförluster. Vätgasoxidationen ger inga biprodukter som kan påverka cellreaktionen. Metanol som används i direktmetanolbränslecellen (DMFC) oxideras till koldioxid vid fullständig reaktion, men ger också en rad intermediära produkter som kan adsorbera och blockera katalysatorytan där reaktionen sker, dvs förgifta elektroden.

Ett alternativ till direktbränslecellen är reformatbränslecellsystem som genom en integrerad reformer/bränsleomvandlare först omvandlar ett kolväte som t.ex. metan i naturgas eller biogas till en vätgasrik gasblandning. Innan gasblandningen når bränslecellen måste den renas från eventuella förgiftande ämnen som svavelföreningar och kolmonoxid. Reformeringen sker sålunda i flera steg; efter svavelfälla följer ångreforming vid hög temperatur och/eller partiell oxidation med luft (kombinationen kallas autoterm reformering). Kolmonoxidnivån sänks ytterligare genom ångreforming vid lägre temperatur (WGS) samt preferentiell oxidation med luft (PrOX).

Med hjälp av rätt reformeringssystem kan en PEFC drivas av i stort sett vilket kolvätebaserat bränsle som helst. De bränslen som oftast diskuteras i samband med stationära PEFC-system är natur- och biogas, men även flytande bränslen kan reformeras. Bränslen med komplexa sammansättningar som t.ex. diesel kräver mer av reformeringssystemet, medan system för enklare bränslen som t.ex. metanol kan göras mycket enkla.

PEFC-anoden påverkas inte i någon stor utsträckning av bränsleutspädning, men systemet måste designas rätt för att hantera föroreningar. Bränsleceller kan således med fördel integreras i olika industriella processer som t.ex. kloralkali och kloratframställning, biobränsleomvandling, avfallshantering etc.

Elverkningsgraden hos reformatbränslecellen ligger runt 30 % och med värmets inkludering blir totalverkningsgraden ca 70-80 %.

2 PEFCs utveckling

2.1 Komponentutveckling

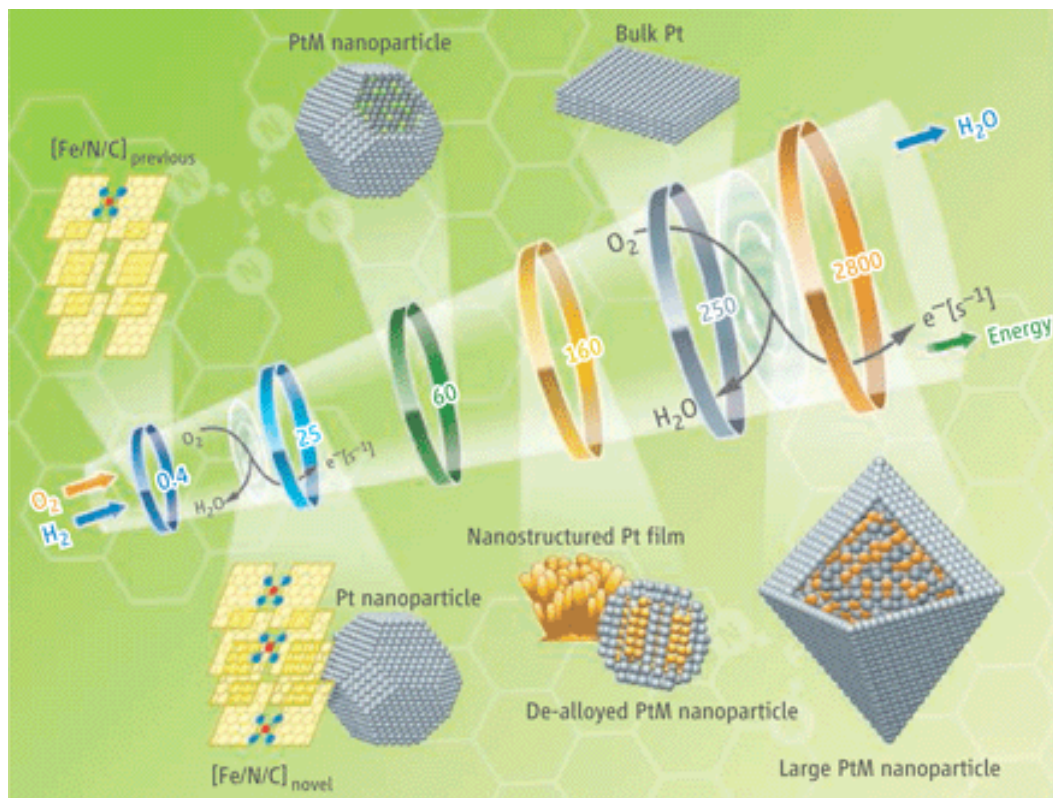
2.1.1 Elektroderna - Katalysatorer och bärare

Vanligtvis används idag platinabaserade katalysatorer och eftersom platinafyndigheterna i jordskorpan är små (0,003 ppb) är följaktligen priset på platina högt (närmare \$48/g (dec 2009)). Därför vill man ersätta platinan med något annat, antingen ett helt annat system som Fe/N/C eller genom att legera platina med en aktiverande metall som Ni, Co, Pd eller en stabiliserande metall som Ir, Ti eller W. För kostnads- och tillgänglighetskraven skall kunna uppfyllas måste den nu typiska Pt/C baserade katalysatorn öka sin massaktivitet med minst en faktor 4.

Forskning pågår också att optimera användningen av platinan genom att antingen öka aktiv platinayta per volymsenhet. Längre har man strävat efter att minska nanopartiklars storlek men det har visat sig att nanopartiklar under 3 nm i diameter är instabila och bildar större agglomerat vid långvarig drift. Idag ägnas större fokus på att designa större nanopartiklar med en viss form eller med företrädesvis ett visst kristallplan som är mer aktivt än de andra. Exempelvis rapporteras i Science av Lim et al. att dendritformade kristaller med Pt på Pd har 2,5 högre massaktivitet än vanligt Pt/C. Frågan är om dessa system kan vara stabila i en verklig cell under långvarig drift.

Flera studier har visat att en markant ökning av aktiviteten för syrgasreduktionen (den trögaste reaktionen i bränslecellen) genom att antingen legera med en annan övergångsmetall som Co och Ni eller att skapa strukturer med en tunn Pt film antingen på en platinalegering ("de-alloying") eller en annan metall och skapa en så kallad "core shell" struktur, vilket kan öka aktiviteten 4-6 gånger. Högst aktivitet rapporteras för Pt₃Ni(111) som kan växas på stora oktahedrer 30 nm i diameter och ge 10 gånger högre massaktivitet än typisk Pt/C. I figur 2 presenteras också hastigheterna för de nya bimetalliska strukturella platinabaserade katalysatorerna beskrivna ovan.

Ett genombrott har skett under året då en ny typ Fe/N/C katalysator som ger jämförbar hastighet för ORR som vanlig Pt/C katalysator har rapporterats av Lefèvre et al. i tidskriften Science. Dessa material har troligtvis aktiva säten av grafen-koordinerade FeN₄ eller FeN₂ strukturer.



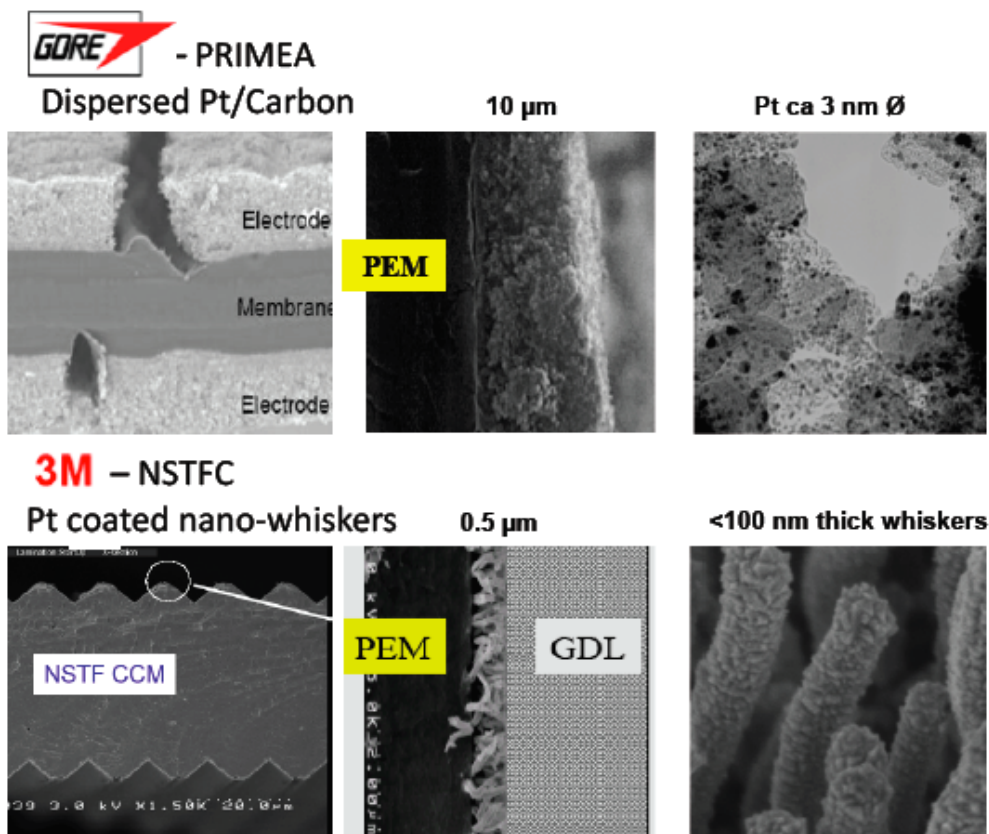
Figur 2. En bild från tidskriften Science (April 2009 vol 348 pp 48) som beskriver utvecklingen mot högre hastighet (turnover frequencies) av syrgasreduktionen (ORR) ($\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$) för olika typer av katalysatorer som opererar 80°C , $100 \text{ kPa}_{\text{abs}}$ H_2 och O_2 , at 0.8 V vs. RHE.

Idag används ofta Pt-legeringar på anodsidan, där upplösningen av andra metaller inte är lika överhängande vid den låga potentialen för vätgasoxidation. Särskilt i metanolbränslecellen och reformatbränslecellen, där bränslet inte är ren vätgas används typiskt PtRu som har högre tolerans för föroreningar, såsom kolmonoxid. Rutenium löses upp vid relativ låg potential och dess användning förutsätter att potentialen inte stiger för mycket pga till exempel läckage av syrgas från katodsidan.

Mycket aktivitet ägnas åt bärmaterialet kol. Ett hett forskningsområde är alternativa bärmaterial som högytigt kol eller andra kolstrukturer som kolnanotuber och -fibrer. På katodsidan i syrgasmiljö tenderar kolet att korrodera, dvs oxidera till koldioxid, med följden att platinapartiklarna faller av, agglomererar eller enklare själva löses upp. Resultat visar att det finns stabilare kol än grafitiskt kol som tidigare varit standard (ex. vulcan), men en nackdel med dessa kol är att platinapartiklarna ofta fäster sämre på en sådan bärare. Även blandningar mellan oxider av titan, volfram eller iridium och kol tros förbättra stabiliteten. Oxiderna verkar också ha en positiv inverkan på aktiviteten. Det finns också studier som visar att kväveinnehållande kolstrukturer kan öka den elektrokemiska aktiviteten.

Som en följd av begränsningarna hos kolbäraren ökar intresset för system utan bärare där 3M vinner mark med sin matta av platinumtäckta fibrer (NSTF) som har visat sig vara mycket stabil och uthållig och där inte heller

platinat tenderar att lösa upp sig. De har kört en cell med NSTF elektrod av PtCoMn legering ($0,2 \text{ mg Pt/cm}^2$) och stabiliserat "nafionliknande membran som i september 2009 hade gått 7300 timmar på öppetspänning, vilket enligt deras egna tester är 7 gånger längre än en vanlig Pt/C ($0,4 \text{ mg Pt/cm}^2$) elektrod.



Figur 3. Typiska kommersiella PEM-MEA (membran electrode assembly) från GORE och 3M.

I linje med ovan rapporterade resultat på förbättrad massaktivitet med hjälp av nanostrukturerade bimetalliska material har i år särskilt märks att de stora kommersiella företagen för katalysatorer Johnson Matthey och 3M arbetar med att storskaligt producera katalysatorer med "core shell" struktur. I en verklig cell finns dock en risk att legeringsmaterialet inte är stabilt och löses upp med tiden. 3M som inte använder någon kolbärare arbetar också med att stabilisera eller spä ut platina med stabila oxidbildande metaller som iridium och även här experimenterar man med olika inre och yttre material.

2.1.2 Membran

Membranutvecklingen går i två riktningar; dels uppmärksammas membranets stabilitet och dels utvecklas nya membrantyper som skall klara högre temperaturer och låga vattenhalter. Högtemperaturmembran är särskilt

önskvärt i reformat- eller metanolbränslecellen eftersom toleransen för föroreningar ökar med temperaturen och på så vis skulle reformeringen och reningsprocesserna kunna förenklas. Dessutom skulle en högre temperatur göra kylningen av stacken enklare.

Nedbryningen av membranen visas i försämrade protonledningsförmåga, ökad gaspermeabilitet och minskad mekanisk stabilitet förorsakad av åldring, uttorkning, föroreningar etc. Hålbildning, "pine-holes", i membranet kan orsaka kortslutning och innebära slutet för cellen. Väteperoxid är känt som en viktig nedbrytande faktor, och olika strategier för att förhindra peroxidbildning undersöks. Membranen testas i större utsträckning i dynamiska förhållanden, så som varierande fuktighet, temperatur och effektuttag. För att öka den mekaniska stabiliteten utvecklas membran baserade på olika oorganiska kompositmaterial eller porösa polymerfyllda strukturer. Ett ökat intresse har också visats de fundamentala aspekterna kring membranets mikrostruktur och dess transportegenskaper för att förstå degraderingsproblem på makronivå.

Fortfarande dominerar florerade membran av typen Nafion. Företaget 3M arbetar med att utveckla en liknande polymer som ska fungera under torrare och varmare förhållanden och utgår från en ny perfluorinerad och delvis jonisk PFSA ("perfluoro sulfonic acid"-polymer) med korta sidkedjor och utan CF_3 -grupper. Polymeren har visat god livslängd på 14000 timmar vid 80°C men klarar inte högre temperaturer eftersom polymeren löser upp sig i kokande vatten.

Det finns sedan flera år också högtemperatur-MEA (www2.pemeas.de) och hela stackar kommersiellt tillgängligt från SerEnergy A/S och Satorius AG. Drift vid låga temperaturer och fuktigheter är en utmaning då membranen bygger på vatten som protontransportmedium. Fostforsyra-dopade membran (PBI) fungerar vid höga temperaturer men kommer till korta vid temperaturer under 120°C . Framsteg har gjorts med system där protontransporten är knuten till fosforsyra-grupper.

2.1.3 Gasdiffusionsskikt (GDL) och Bipolära plattor (BPP)

Gasdiffusionsskiktets funktion är att fördela bränslegasen över elektroderna, att leda strömmen samt att transportera bort vatten som bildas i syrgasreduktionen på katodsidan. Den är således en mycket viktig komponent för vattenhanteringen i cellen. För mycket vätskeformigt vatten i cellen ("flooding") leder till minskad prestanda. Elektronledningen blir bättre vid högt klämtryck men ger samtidigt minskad porositet och sämre vattenhantering. Intensiv forskning pågår om celldesign för att få bästa tänkbara prestanda. Avancerade försök med neutron diffraktion (imaging eller radiografi) eller röntgenspektroskopi med synkrotronkälla kan visa var i cellen vattendroppar bildas och hur de leds bort beroende på egenskaperna hos GDL. Även åldring av GDL försämrar vattentransporten vilket kan bero på upplösning av det hydrofoba lagret i det mikroporösa skiktet närmast elektroden som förhindrar att bildat vatten stannar i cellen.

De bipolära plattorna, som leder strömmen och har kanaler för gasen har också kanaler för kylvatten för att celltemperaturen skall kunna kontrolleras. Bäst ledningsförmåga har grafit och kolbaserade kompositmaterial, men

rostfritt stål är lättarbetat och starkt och mer lämpat för system i fordon. Stål är dock korrosionsbenäget, vilket kan leda till att metalljoner hamnar i membranet eller på katalysatorn och bidra till degradering. Dessutom har rostfritt stål hög resistans på grund av sin skyddande oxidfilm. För bättre ledningsförmåga utvecklas beläggningar baserade på kol eller ädelmetall. Flera svenska producenter har visat intresse för tillverkning av de bipolära plattorna.

2.2 Bränslecellsystem

2.2.1 Livslängd - Uthållighet

För bränslecellens olika tillämpningar inom transport, i stationära kraftvärmetillämpningar och för portabel elektronik krävs att systemen har en tillförlitlig och konkurrenskraftig servicetid till en rimlig kostnad. U.S. Department of Energy's (DOE) mål för bränslecellstackar 2010-2015 är för fordon en driftstid på 5000 h (7,5 månader) till ett pris av \$30/kW och för stationära system 40 000 h (ca 5 år) till en kostnad av \$750/kW. Priset för bränslet inkluderande förvaringen för fordon skall inte överstiga \$2-3 för motsvarande en gallon bensin och finnas tillgängligt med 300 miles avstånd.

Forskningens fokus ligger i huvudsak på att få ner priset och öka livslängden på bränslecellen. Nedbrytningsprocesserna är svåra att studera då de i många fall är sammansatta och påverkar komponenterna olika, beroende både på materialen och på driftsförhållandena. Till exempel ger högre fuktighet och temperatur högre prestanda och ledningsförmåga i membranet men också ökad gaspermeabiliteten, som leder till väteperoxidbildning, samt ökad hastighet för korrosionsprocesserna i elektroderna. Det är sålunda viktigt med studier av hela systemet för att optimera driftsförhållandena i fråga om aktivitet kontra livslängd samt finna gemensamma accelererade provningsmetoder för att testa användbarheten av olika celler, stackar och system.

Olika accelererande tester används för att studera stabiliteten hos elektroderna. Förutom att cykla potentialen inom ett relevant potentialområde för syrgaselektroden (0.5-1.0 V), en metod som i huvudsak korroderar platina, testas cellen för en konstant mycket hög potential (1.2-1.5 V) för att följa oxidationen av bärarkolet. Man vet att i synnerhet vid start- och stopprocesser och under olika driftsbetingelser som hög fuktighet och hög temperatur ökar degraderingen av elektroden, av såväl katalysatorpartiklarna som kolbärarmaterialet. En avgörande faktor är hur flödet av vätgas/syrgas upprätthålls på de respektive sidor. Om vätgasflödet stryps vid stopp kan syrgas från katoden gå över membranet och dra upp potentialen på anodsidan. Om sedan cellspänningen (skillnaden i potential mellan anod och katod) upprätthålls betyder det att potentialen vid katoden kan bli extremt hög, vilket då skyndar på korrosionsprocesserna. Därför utvecklas också accelererande tester där tillflödet av bränslet cyklas.

2.2.2 Systemintegrering och robusthet

Tester på bränslecellsfordon visar att mer än hälften av haverierna beror på fel i kringutrustning, vibrationer och användarfel, vilket pekar på att mycket finns att göra på systemutvecklingen. En tydlig trend är att bränslecellssystemutvecklingen flyttat "in house" hos användarna vilket märkbart förbättrar de totala systemen. Till exempel lanserar Honda i år en utveckling av systemet från 2003 för Honda FCX Clarity. Den nya V Flow FC stacken ökar "volume output density" med 50 % och "weight output density" med 67 % jämfört med den förra modellen. Effekten är nu 100 kW, volymen 52 liter och vikten 67 kg. Dessa siffror kan uppfyllas med en ny design av stacken som har vågformade gaskanaler genom separatorerna/bipolära plattorna som ökar den exponerade ytan och gasfördelningen genom att den förlänger kanalerna och förbättrar diffusionen. Dessutom rinner vatten alltid nedåt och utnyttjar därmed gravitationen. Dräneringen förenklas och kanalernas djuphet kan reduceras med 17 %.

Det mer avancerade reformatbränslecellssystemet är också i en utvecklingsfas för att hitta effektivare helhetslösningar.

2.2.3 Bränslekvalitet

Ju närmare bränslecellen kommer kommersialisering, desto större fokus läggs på kringsystemen. En viktig kärnfråga är den kvalitet på vätgas som kommer att distribueras av gasleverantörerna. Det är väl känt att svavelspecier och kolmonoxid har en förgiftande effekt på platinakatalysatorn som därigenom kraftigt försämrar cellens prestanda. Därför har arbetet påbörjats med att skapa standarder för olika vätgaskvaliteter, på initiativ av USA (DOE) och Japan (JARI). För PEM-bränslecellen vill man använda ISO grad D som skall vara 99,99 % ren vätgas med en CO halt som ej överstiger 200 ppb, och svavelhaltiga gaser och ammoniak under 4 ppb respektive 100 ppb. Övriga föroreningar i gasen är främst ädelgaser, syre och vatten. Enligt gasbolagen är det mycket svårt att framställa en så ren gas i stor skala och än så länge är analysmetoderna för kontroll dåligt utvecklade för vätgas, och gränsvärdena ligger i vissa fall under detektionsgränserna.

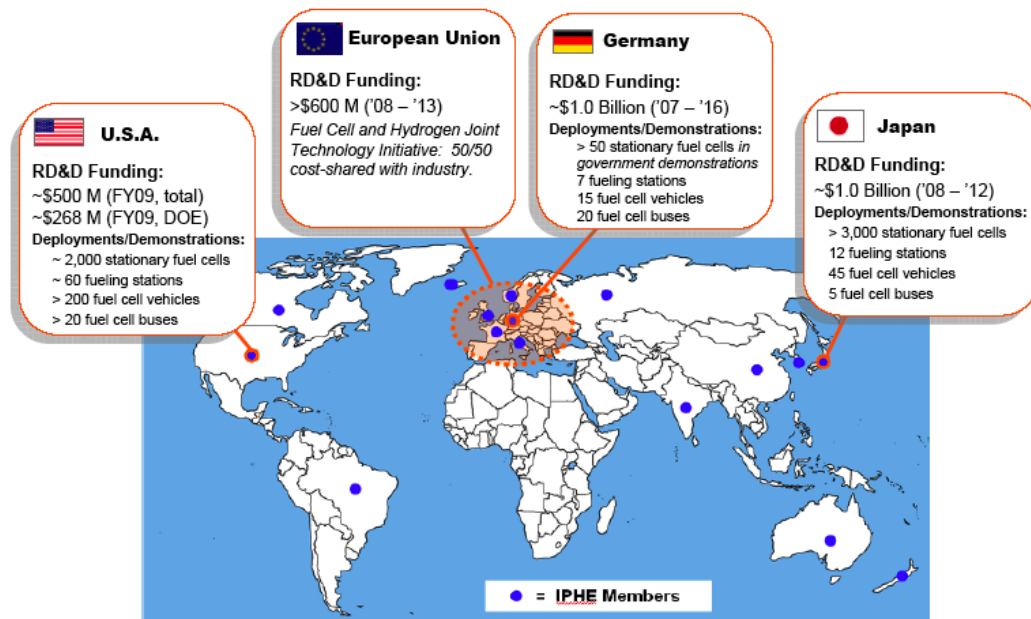
Både i stationära bränslecellsystem och i system för fordon används luft på katodsidan. Luften innehåller en uppsjö av föroreningar, beroende på geografisk lokalisering. I stadsmiljö finns SO_2 (i synnerhet i kolkeldande länder i Asien), NO_x och partiklar. I städer där man använder stadsgas finns också spår av svavelinnehållande tillsatser, typiskt etylmerkaptan, för att ge en svag doft. I vulkanaktiva områden finns låga halter av svavelväte (H_2S), i marina områden kloridinnehållande aerosoler och i jordbruksmiljöer finns halter av ammoniak (NH_3). Alla dessa ämnen kan påverka bränslecellens prestanda på olika sätt men framför allt verkar katalystorn påverkas. En hel del ny forskning har kommit fram under året inom området. I synnerhet har studier av de svavelhaltiga ämnena visat att de adsorberas och ackumuleras på Pt ytan varvid den katalyserande effekten kraftigt försämras. CO och flera andra kolväten kan oxideras bort vid hög potential eller "air-bleed", men svavel är mycket svårare att reagera bort. I synnerhet om ämnena går över membranet och hamnar på anodsidan. Arbeta pågår också att undersöka inverkan av andra eventuella föroreningar som toluen och etylen som kan förekomma i trafikmiljön. I anslutning till inverkan av föroreningar utvecklas

olika typer av filter och reningsprocesser för luftbränslet så väl som för vätgasen.

En annan typ av föroreningar är utlösta ämnen från cellen, typiskt metalljoner från de bipolära plattorna, packningarna eller gasledningarna. Även spår från vätgasförvaringen eller tankventiler har diskuterats. Somliga av dessa tros ha inverkan på membranets livslängd och ledningsförmåga.

2.3 Kommersiell utveckling

Den kommersiella utvecklingen av bränsleceller går stadigt framåt med stort utvecklingsstöd främst i USA, Japan, Tyskland och EU. Nedan i Figur 4 sammanfattas vilka statliga satsningar som görs i dessa länder.



Figur 4. Statliga investeringar i bränsleceller och vätgasinfrastruktur. Källa: DOE

Som tidigare nämnts ligger fokus och de mesta forskningsresurserna på att utveckla bränslecellssystem som är konkurrenskraftiga till kostnad och livslängd.

Med storskalig tillverkning minskar priset på bränslecellen stadigt och man beräknar att med en tillverkningsvolym på 500 000 enheter/år var vi 2008 nere på \$73/kW och den summan spås sjunka till \$30/kW till 2015. Även användningen av katalysator (Pt-gruppen) går ner. Ett 3M MEA klarar <0,2 g/kW 2009, vilket är lägre än DOEs mål för 2010 för en hel stack.

Andra barriärer att ta sig förbi är frågor som säkerhet, standarder, inhemsk tillverkning och distribuering, allmän acceptans och bränsleframställning, lagring och infrastruktur, där olika demonstrationsprojekt är viktiga.

2.3.1 Stationära tillämpningar

Det största nationella programmet för att kommersiellt introducera PEFC för småskalig kraftvärme pågår för närvarande i Japan. I ett av NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) finansierat projekt, samarbetar energibolag och bränslecellstillverkare för att få ut kompletta system till "vanliga" hushåll. Till utgången av mars 2009 hade 3307 små system installerats, och efter det har ytterligare ett stort antal system tillkommit. Storleken på systemen är ca 1 KW elektrisk effekt, och de innehåller en bränsleomvandlare (reformer), en bränslecellsstack samt kraftelektronik och hjälpsystem. Utöver den elektriska energin används även överskottsvärmen till uppvärmning av kranvatten, och systemen har därför även utformats med en separat ackumulatortank för varmvatten. System från fem olika tillverkare, utformade för stadsgas (metan), LPG (propan och butan) respektive fotogen har installerats.

Projektet har genererat mängder med data avseende systemens prestanda, men även hur hushållens energianvändning ser ut. Fram till mars 2009 var den sammanlagda drifttiden nära 22 miljoner timmar med över 12 GWh el genererad. Alla inblandade intressenter har tillgång till dessa data, med målsättningen att successivt allt konkurrenskraftiga system ska komma fram. Mellan 2005 till 2008 har tillverkningskostnaden gått ner med 57 %. Systemen subventioneras än så länge, men från år till år sjunker bidraget per system från staten och kommer maximalt att täcka halva installationskostnaden. Den elektriska medeleffekten på alla system var 31 % under 2008, men från år till år har denna siffra ökat något i takt med att nya system har installerats. Annan intressant statistik rör exempelvis tillgänglighet och orsaker till driftstopp. Värt att notera är att bara ett mycket litet antal av stoppen beror på själva stacken, utan att nästan alla problem har varit kopplade till hjälpsystemen, där vattensystemet verkar ha vållat mest problem. Ett system idag kostar runt 3 miljoner Yen, vilket motsvarar ungefär 4-500 kkr. Detta är allt för dyrt för en bred introduktion, och målet är att det till år 2015 ska finnas system till en kostnad av 5-700 tusen Yen.

Systemen lanseras nu under namnet "ENE-FARM", och ytterligare information finns på www.ene-farm.info/en/.

3 Svenska satsningar

I år avslutades Mistras bränslecellsprogram som var den största nationella forskningsprogrammet inom området PEFC. Programmet startades 1997, och är nu inne i sin tredje projektperiod som löper från 2007 fram till slutet av 2009. Programmet engagerar dels forskargrupper vid LTH, Chalmers och KTH, dels ett halvduussin företag. Som en fortsättning på Mistra-programmet pågår nu tillsammans med Energimyndighetens och Elforsks teknikbevakningsprogram planeringen av ett kompetenscentrum för bränsleceller på nationell nivå med start 2010. Energimyndigheten finansierar redan PEFC-bränslecellsprojekt inom "Energisystem i vägfordon", som löper fram till utgången av 2010. Inriktningen är mot hjälpkraftsystem i fordon för AB Volvo/Powercell AB. De APUer (Auxillary Power Units) som utvecklas är system på 5-10 kW med integrerad reformering av diesel. Svenska universitet är också aktiva i olika EU-projekt och nätverk, samt i Nordisk Energiforsknings program. Genom Nordiska Ministerrådet planeras forskningsprogram där bränslecells forskning ingår som en del av ett större energiförsörjningsprogram.

Däremot saknas ett nationellt program i Sverige för utvecklingen av PEFC för stationär kraftvärmeproduktion, trots att området växer globalt. PEFC-system kan drivas med de flesta typer av bränslen, även förnybara bränslen såsom t ex biogas, och är inte beroende av ren vätgas. Lokal kraftvärmeproduktion med elverkningsgrader upp mot 40 % förväntas uppnås då systemkostnaderna har sjunkit och livslängden förbättrats vid kommersialisering. Bränslecellstekniken skulle därigenom kunna bli en viktig länk i ett flexibelt svenskt energisystem uppbyggt kring förnybara bränslen. En förutsättning är dock att det framöver initieras nya nationella forskningsprogram för den stationära bränslecellsutvecklingen så väl som för fortsatt kompetensutveckling och utbildning av kompetenta personer på högskolorna. Tiden är mogen för nya demonstrationsprojekt med PEFC-system som drivs med förnybara bränslen.