

Teknikbevakning av polymera bränsleceller (PEFC) 2010–2011

Elforsk rapport 11:37



Rakel Wreland Lindström & Göran Lindbergh

Oktober 2011

ELFORSK

Teknikbevakning av polymera bränsleceller (PEFC) 2010–2011

Elforsk rapport 11:37

Förord

Denna rapport är framtagen inom projektet Teknikbevakning av bränslecellsområdet under 2010-2011 (Elforsk projektnummer 25043). Rapporten beskriver aktörer, teknikstatus och nyheter under år 2010 och första halvåret 2011 inom området polymera bränsleceller (PEMFC). Teknikbevakningen har skett genom deltagande i bränslecellskonferenser, genom att följa den vetenskapliga litteraturen på området, och genom personliga kontakter med företag och andra forskare. Rapportens huvudsakliga slutsatser presenteras i en slutrapport för hela teknikbevakningsprojektet (Elforsk rapport 11:48).

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

Stockholm oktober 2011

Bertil Wahlund

Programområde El- och värmeproduktion

Sammanfattning

Bränslecellsutvecklingen inom PEMFC går stadigt framåt. Utvecklingen kommer allt närmre målen när det gäller att få ned kostnaderna, öka livslängden och öka driftsäkerheten. Till exempel har kostnaden för bränsleceller för transportsektorn minskat med mer än 80 % sedan 2002 till ca \$ 51/kW 2010 (beräknat på stora volymer). Målet är \$ 30/kW som är kostnaden för en bensinmotor. Ännu längre har man kommit vad gäller livslängd där man nästan har uppnått målen. Flera system har också visat att de kan fungera under 0°C. Även utvecklingen av vätgasproduktion och distribution går framåt och ytterligare nya tankstationer installeras främst i USA, Japan, Korea och Tyskland men också i andra länder. De stora biltillverkarna satsar stort på bränslecellstekniken och har gått ut med en samlad plan att börja sälja eldrivna lätta fordon med bränsleceller runt 2014-2015.

Aktuella forskningsfrågor är fortfarande att optimera bränslecellens komponenter så väl som stacken och kringssystemen vad gäller kostnadseffektivitet och kvalitet. Frågor kring drift är fortfarande vattenhanteringen, nedbrytningsmekanismer och inverkan av föroreningar från bränslet och omgivande miljö.

Forskningsmässigt har utvecklingen gått framåt för icke-platinabaserade elektroder. Det är kväveinnehållande strukturerade kol med aktiva säten av järn och/eller kobolt som har visat på mycket lovande resultat. För de platinabaserade systemen arbetar man på nanostrukturerade strukturer som har hög mass-aktivitet och lägre platinamängd.

I Sverige är våra bränslecellföretag på frammarsch; myFC lanserar en elektronikladdare i år och Powercells APU väckte nyligen stort intresse på Hannovermässan. På universiteten är dock aktiviteten minskande eftersom finansieringen till bränslecellsforskning från svenska myndigheter dragits ner. Under juni 2011 har dock två arbetsseminarier med stöd från Elforsk och Energimyndigheten ägt rum med fokus dels på material till bränsleceller och dels på biogas som bränsle för bränsleceller, och som tillsammans samlade personer verksamma på olika sätt kring bränsleceller. Diskussioner pågår kring att skapa ett kompetensnätverk eller ett nytt bränslecellscentrum där även andra typer av bränsleceller skulle ingå för att stärka teknikutvecklingen och forskningen i Sverige men också för att bibehålla kompetensen i området för att möta en utveckling och bredare användning av tekniken i framtiden.

Summary

The fuel cell development in PEMFC is progressing. The development is slowly reaching the goals of bringing down costs and increase durability and reliability. For example, the cost of fuel for transport has decreased by more than 80 % since 2002 to about \$ 51/kW 2010, calculated on large volumes. The goal is \$ 30/kW, which is the cost of a gasoline engine. The targets are almost reached concerning durability. And the systems are reliable in wider ranges of temperatures, for example some systems can operate below 0 °C. Further, the development of hydrogen production and distribution advances and more and more stations are installed primarily in the U.S., Japan, Korea and Germany but also in other areas around the globe. The major car manufacturers are investing heavily in fuel cell technology and have signed an overall plan to start selling electric fuel cell vehicles around 2014 to 2015.

Current research issues remain to optimize the fuel cell components as well as stack design and the around the systems in terms of cost and quality. Research issues about the operation are still water management, degradation mechanisms and effects of pollution from fuel and/or the surrounding environment.

In terms of research a progress on non-platinum based electrodes has been achieved recently. It is nitrogen containing structured carbon with active sites of Fe and/or Co, which has shown very promising results. For the platinum-based systems researchers are working on nano-structures that have a high mass-activity and lower amounts of platinum.

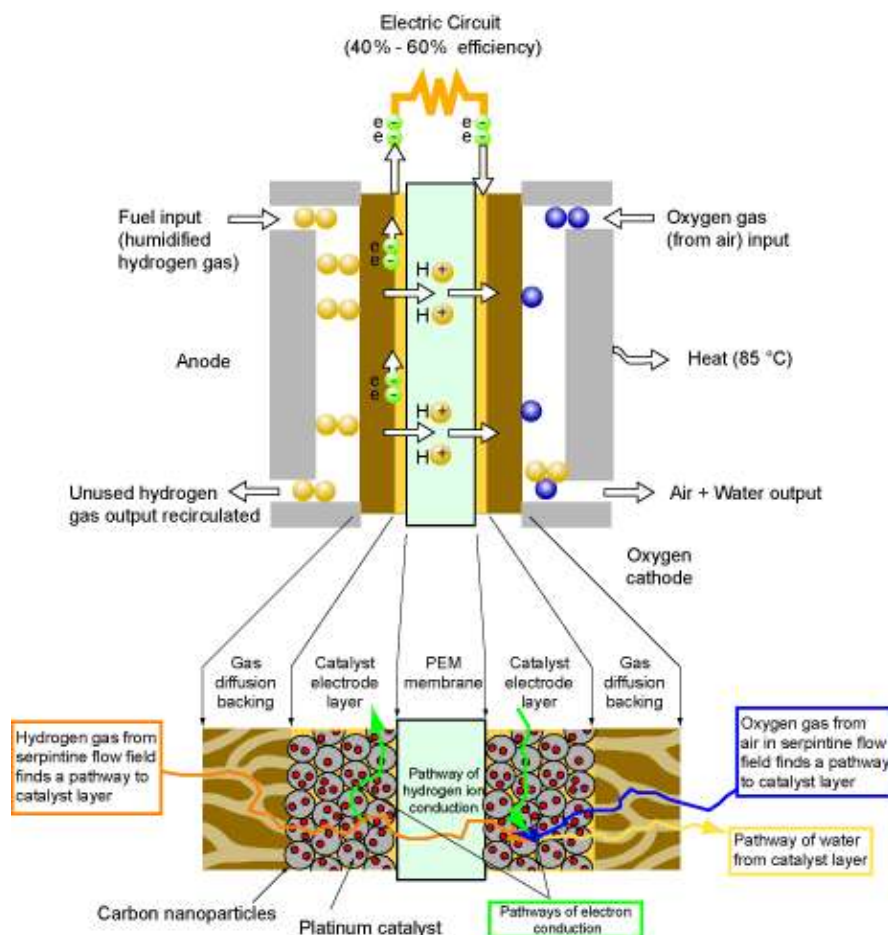
In Sweden, our fuel cell companies are on the rise; myFC is launching an electronic charger this year, and Power Cell APU recently aroused great interest at the Hanover Fair. At universities, however, the activity is declining due to less funding for fuel cell research from the Swedish authorities. In June 2011, however, two workshops with assistance from Elforsk and the Swedish Energy Agency has taken place, focusing on (1) materials for fuel cells and on (2) biogas as a fuel for fuel cells, gathered people both from industry and academia working with fuel cells in one way or another. Discussions are in progress on gathering national fuel cell activities in a competence network or a new fuel cell centre, where all types of fuel cells would be included in order to enhance technology development and research in Sweden but also to maintain competence in the area to meet a development and utilisation of the technology in the future.

Innehåll

1	Tekniköversikt	1
2	Nyheter och utvecklingstrender	3
2.1	Generella mål för bränslecellsutvecklingen	3
2.2	Vetenskapliga framsteg inom komponentutveckling.....	4
2.2.1	Icke platinabaserade elektroder.....	4
2.2.2	Platina-baserade elektroder	6
2.2.1	Nya typer av membran.....	7
2.3	Kommersiella framsteg	8
2.3.1	Utvecklingen inom fordonssektorn	8
2.3.2	Utvecklingen i USA.....	9
2.3.3	Europa och Tyskland	9
2.3.4	Japan och Korea	10
2.3.5	Norden och Sverige.....	10
3	Vad händer i Sverige nu och framåt?	12
3.1	Verksamhet vid svenska lärosäten	12
3.2	Kommersiell verksamhet i Sverige	12
3.3	Framtida utveckling i Sverige.....	13
4	Tekniköversikt	14

1 Tekniköversikt

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 syrgas) reduceras till vatten vid katoden, också med 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 katodelektrodena 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 vätejonledning måste membranerna även innehålla vatten.



Figur 1. Schematisk bild av en polymerelektrolyt-bränslecell.

Utöver membranet och elektroderna, det så kallade 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 vid drift 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 PEMFC:s arbetstemperatur oftast under 100 °C. Eftersom även värme bildas i cellen måste stacken kylas, detta i regel 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. Den teoretiska verkningsgraden är över 80 % men i realiteten har ett bränslecellssystem t ex i ett fordon en verkningsgrad på 60 % (räknat från tank till hjul) vilket ändå är mer än det dubbla jämfört med konventionella fordon. 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, d v s förgifta elektroden, vilket leder till en lägre verkningsgrad.

Ett alternativ till direktbränslecellen är reformatbränslecellsystem som genom en integrerad reformer/bränsleomvandlare först omvandlar ett kolväte som exempelvis 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 ångreformering vid hög temperatur och/eller partiell oxidation med luft. Kombinationen kallas autoterm reformering. Kolmonoxidnivån sänks ytterligare genom ångreformering vid lägre temperatur (WGS) samt preferentiell oxidation med luft (PrOX). Med hjälp av rätt reformeringssystem kan en PEMFC drivas av i stort sett vilket kolvätebaserat bränsle som helst. De bränslen som oftast diskuteras i samband med stationära PEMFC-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. PEMFC-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 klor-alkali och kloratframställning, biobränsleomvandling, avfallshantering etc. Elverkningsgraden hos reformatbränslecellen ligger runt 30 % och med värmets inkludering blir totalverkningsgraden ca 70-80 %.

2 Nyheter och utvecklingstrender

2.1 Generella mål för bränslecellsutvecklingen

De främsta tekniska utmaningarna för ett kommersiellt genombrott för den polymera bränslecellens är kostnaden, livslängden och drifttåligheten i ett bredare temperaturintervall.

För en bredare användning så måste bränsleceller bli betydligt billigare, utan att för den skull kompromissa med prestandan. Även om bränsleceller redan har blivit kostnadsmässigt konkurrenskraftiga i ett antal tillämpningar måste tillverkningskostnaden sjunka kraftigt för en utbredd kommersialisering. Enligt amerikanska energimyndigheten DOE kostar stationära bränsleceller i intervallet 1 – 100 kW idag \$ 3000 – 10000/kW. En kostnad under \$ 1000/kW skulle möjliggöra konkurrenskraftighet i fler tillämpningar för den tidiga marknaden. För ett betydande genomslag behöver dock kostnaden sjunka till \$ 450 - 650/kW för kraftvärmesystem och \$ 500 - 700/kW för hjälpkraftaggregat. För den traditionella transportsektorn, måste kostnaderna kraftigt minskas för att bränslecellen skall kunna konkurrera med förbränningsmotorn. På grund av stora tillverkningsvolymerna samt effektiva och väletablerade leverantör- och distributionsnät är kostnaden idag för en vanlig förbränningsmotor ungefär \$ 30/kW för lätta fordon.

Förbättringar i bränslecellstekniken har dock redan gett betydande kostnadsminskningar. Framför allt har kostnaden för bränsleceller för transportsektorn minskat med mer än 80 % sedan 2002 till ca \$ 51/kW 2010 beräknat på stora volymer. Priset för gasdiffusionsskikt har minskat med mer än 50 % och tillverkningen av nya treskiktade MEA med 25 %. Ytterligare sänkning av priset behövs för att få igång tillverkning av större volymer. Med fler fordon sålda kan investeringar i effektiv tillverkning och distribution finansieras, som ytterligare möjliggör en sänkning av priset för verkligt stora volymer.

Livslängden av vissa typer av bränsleceller närmar sig nivåer som gör dem lönsamma på vissa marknader, särskilt för stationära. Men för konkurrenskraftighet måste livstiden vara minst 40000 eller hellre 80 000 timmar för stationära tillämpningar och 5000 timmar (cirka 150 000 miles) för fordon.

Samtidigt som förbättringar i kostnad och livslängd görs måste bränslecellssystemen kunna fungera tillförlitligt i omgivande temperaturer, dvs från -40 °C till +50 °C och på hög såväl som låg relativ luftfuktighet. Högre drifttemperaturer skulle resultera i förbättrad effektivitet, minskad storlek och vikt för bränsleceller för transportsektorn, högre effekttäthet för stationära bränsleceller, och högre energitäthet för portabla bränsleceller. Dessutom måste material och komponenter utformas för att maximera en hållbar livscykel.

Department of Energy (DOE) i USA driver ett av de största bränslecellsprogrammen i världen och ser i linje med andra program följande forskningsfrågor inom PEMFC som prioriterade:

Komponentutveckling:

- För att kunna hålla kostnads-, hållbarhets- och prestandamål för PEMFC, fortsätta att minska eller byta ut mängden ädla metaller (från platinagrupperna (PGM)) som katalysatorer och utveckla innovativa metoder och komponenter som gasdiffusionsskikt, hållbara högtemperaturmembran och billiga korrosionsbeständiga bipolära plattor.
- Förbättra direktmetanolbränslecellens prestanda och hållbarhet och samtidigt sänka kostnaderna genom utveckling av låga och icke-ädla katalysatorer samt membran med minskad metanol- och vattenpermabilitet.
- Fortsätta att utveckla och optimera MEA-monteringen och stackdesignen för förbättrad prestanda med optimerade komponenter.

Experimentell diagnostik och bränslecellsmodeller:

- Öka förståelsen för vattentransport och hantering även i temperaturer under 0 °C.
- Beskriva och analysera orsaker till åldring och nedbrytning.
- Utvärdera effekterna av föroreningar i bränsle och luft på bränslecellsprestanda och hållbarhet.

Fuel Cell BoP (Balance of Plant)

- Designa kringsystemet (bränsle/luft/värme) och utveckla billiga komponenter för låga och höga temperaturer som uppfyller prestanda och hållbarhetskrav.
- Utveckla kostnadseffektiva bränslereformersystem med hög prestanda, hållbarhet och hög bränslekvalitet.

Bränslecellssystem kostnad- och prestandaanalys

- Fortsätta att uppdatera kostnads- och prestanda-analyser baserade på de senaste tekniska framstegen, avancerad systemdesign och optimerade konfigurationer för små och stora tillverkningsvolymmer.

2.2 Vetenskapliga framsteg inom komponentutveckling

Nedan ges ett axplock av de mest uppmärksammade vetenskapliga rönen inom komponent för PEMFC som publicerats på senare tid.

2.2.1 Icke platinabaserade elektroder

Den viktigaste vetenskapliga nyheten är framsteg inom icke platina-baserade elektroder. Nickel eller järnkatalysatorer på en aktiv kväveinnehållande kolbärare har visat goda resultat i flera studier.

Franska forskare (Giff et al., Science 326(2009)1384) har genom att försöka efterlikna enzymet hydrogenas lyckats skapa en aktiv katalysator av organometalliska komplex med järn och nickel bundna till flerväggiga kolnanotuber, se nedan i Figur 2. Katalysatorn rapporteras ha hög aktivitet för vätegasreaktionen och fungerar väl i sur miljö och i kontakt med Nafion. Aktiviteten uppmättes till ca hälften av vad en motsvarande Pt/C elektrod (0.5 mg Pt/cm²) ger. Publikationen har varit mycket uppmärksam i vetenskaplig press.

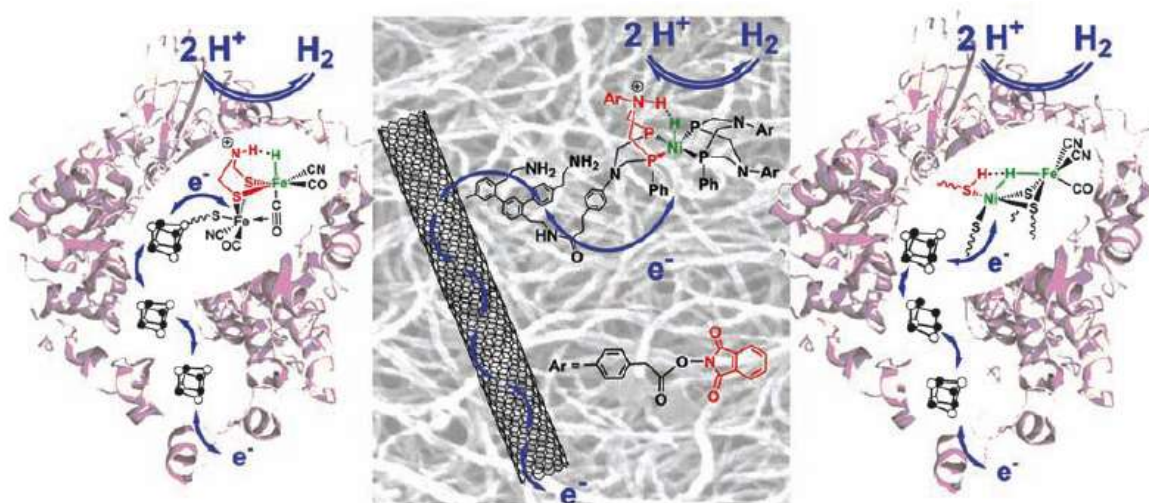
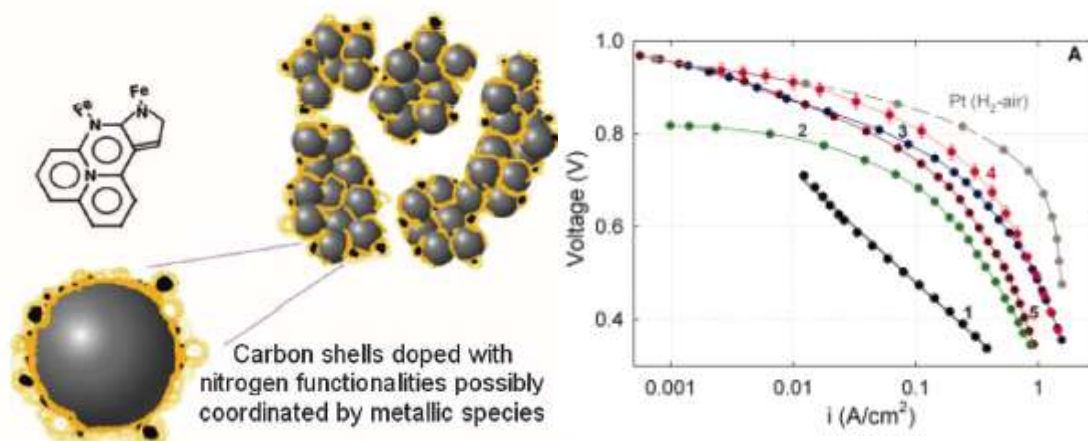


Fig. 2. Strukturen hydrogenas i reducerad form med FeFe (vänster) och NiFe (höger) och schematisk representation av strukturen av den bio-inspirerade vätgasutvecklande Ni-katalysatorn som sitter bunden på ett kolnanorör (mitten). Giff et al., *Science* 326 (2009)1384

Alldeles nyligen publicerades i en annan Science-artikel (Wu et al., *Science*, 332 (2011) 6028) resultat som visar att kobolt och järn på pyrolyserad polyanilin (PANI-Fe-Co-C) också fungerar som katalysator för syrgasreduktionen i sur lösning. Katalysatorn visade hög effekttäthet, hög selektivitet och lovande livslängd. För låga strömtätheter var aktiviteten den samma som för Pt/C, se polarisationskurvorna i Figur 3. Dessutom tålde katalysatorn start-stoppcykler bättre än Pt/C. En annan fördel var att syrgasreduktionen visade sig vara mer fullständig med PANI-Fe-Co-C än för platina. Vid ofullständig reduktion bildas väteperoxid som åldrar membranet och leder till energiförluster. Med den nya oädla katalysatorn bildades alltså endast extremt små mängder av peroxid. Fortfarande saknas dock förståelse kring mekanismen för reaktionen.



Figur 3. Till vänster en illustration av PANI -Fe och/eller Co katalysatorn för syrgasreduktion. Till höger jämförelse av prestanda med polarisationskurvor i en H₂/O₂ bränslecell med olika PANI

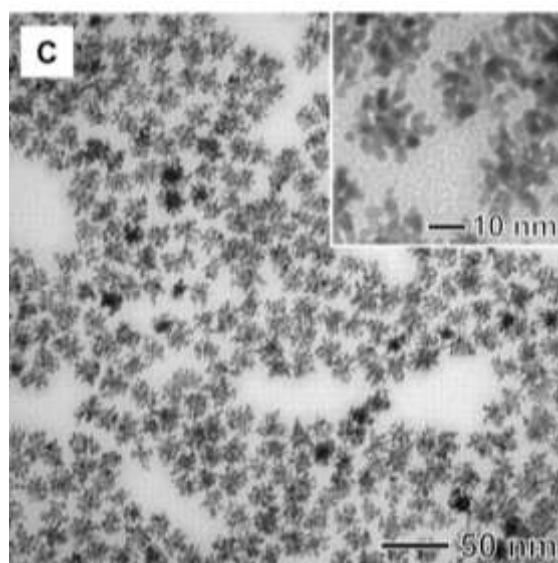
katodkatalysatorer: 1, PANI-C; 2, PANI-Co-C; 3, PANI-FeCo-C(1); 4, PANI-FeCo-C(2); 5, PANI-Fe-C och vanlig Pt/C katod ($0.2 \text{ mg}_{\text{Pt}} \text{ cm}^{-2}$).

G. Wu, K. L. More, C. M. Johnston, P. Zelenay, *Science*, 2011; 332 (2011) 443

Även kväveinnehållande kolmaterial utan aktiv metal verkar fungera som katalysator. I en studie av Wang et al. publicerad i JACS 133 (2011) 5182, har det påvisats att kolnanotuber som behandlats med en polymer-ammoniumkloridlösning kunde fungera som katalysator i en alkalisk bränslecell. Metoden är både billig och enkel och katalysatorn för syrgasreduktionen verkar vara stabil och dessutom mycket CO-tolerant. I jämförelse med Pt/C gav det behandlade kolnanomaterialet lika hög aktivitet i alkalisk elektrolyt. Dessutom bibehölls den höga aktiviteten med tid och katalysatorn verkade opåverkad av kolmonoxid, som på platina drastiskt försämrar aktiviteten. Inte heller metanol, som används som bränsle i direktmetanolbränsleceller (DMFC), som läckt över till katodsidan verkade påverka katalysatorn, något som brukar vara kritiskt för platinabaserade elektroder.

2.2.2 Platina-baserade elektroder

För platinabaserade katalysatorer fortsätter man med att utveckla nanostrukturerade katalysatorer. Dels går utvecklingen framåt för "Core-Shell material", (d v s där de katalytiska partiklarna utgörs av ett skal av Pt eller Pt-legering ovan på en kärna av annan metall,) där flera kommersiella företag också är aktiva, och dels utvecklas material med särskild aktiv struktur. Nyligen rapporterades det till exempel i Science om stjärnliknande partiklar, med Pt-dendriter som strålade ut från en palladiumkärna som visas i Figur 4. Partiklarna rapporteras ha en massaktivitet 2,5 ggr högre än den bästa kommersiella Pt/C katalysatorn. Framställningen av partikeln rapporteras som tämligen enkel och sker i vattenlösning i närvaro av vitamin C! Fördelen med stjärnpartikeln (ca 23 nm i diameter) är att den både är robustare och stabilare än vanliga nanopartiklar och har en mer aktiv yta för syrgasreduktionen.

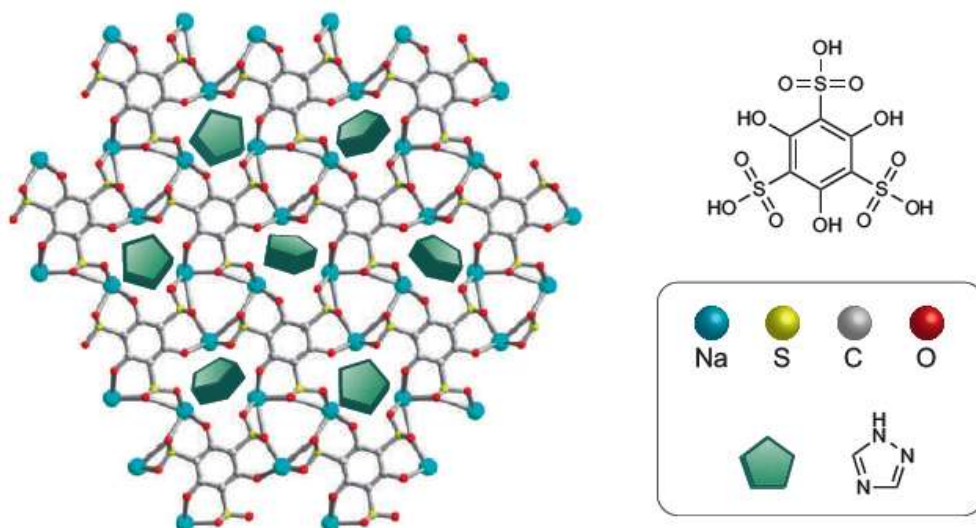


Figur 4. Transmissionselektronmikrografi av Pd-Pt nanodendriter syntetiserade genom reduktion av K_2PtCl_4 med L-ascorbinsyra i närvaro av oktaedrisk Pd NC groddar i vattenlösning. B. Lim et al., *Science*, 324 (2009) 1302.

Utvecklingen går också framåt vad gäller aktiva kombinationer av support och katalysator. I JACS (D. Wang et al. JACS 132 (2010) 10218) rapporteras i år om en anodkatalysator, baserat på Pt nanopartiklar på en blandning av titan- och volframoxid, som uppges fungera väl i upp till 2 % kolmonoxid. Det är en tolerans 2000 ggr bättre än för vanlig Pt/C. En hög CO tolerans är mycket önskvärd eftersom det skulle betyda stora besparingar då rening av vätegasen inte skulle behövas i samma utsträckning. Dessutom rapporteras materialet vara mer stabilt och kräver mindre mängd platina än vanlig Pt/C.

2.2.1 Nya typer av membran

Det görs försök att skapa andra typer av membran som klarar högre temperaturer och inte kräver vatten för protonledning. Ett exempel är metall-organiska ramverk som rapporterats om i Nature Chemistry nyligen (Hurd et al. Nature Chemistry, 1 (2009) 705). Dessa membran är till skillnad från typen nafion, kristallina med en porös struktur genom vilken protonledning kan ske, se Figur 5. I studien av natriumjonkoordinerade trisulfonerade benzenderivat som dopats med triazolmolekyler kunde en protonledningsförmåga på 5×10^{-4} S/cm uppmätas vid 150 °C. Ramverken har endimensionella kanaler ca 5 Å i diameter som kan fyllas med triazoler som transporterar protoner i stället för vatten. Membranet konstaterades dessutom gastätt då en öppenspanning i ett MEA var nära 1.2 V vid 100 °C vilket indikerar att ingen gas läckt över till andra sidan. Den här nya typen av membran spås ha många tillämpningar inte minst för polymera bränsleceller.



Figur 5. Strukturen av det metall-organiska ramverket PCMOF2 med triazolmolekyler som skulle kunna användas som icke-vattenbaserad protonledande elektrolyt i bränsleceller vid 150°C. Det trisulfonerade benzenderivatet som används som ligand visas till höger.

J. A. Hurd¹, R. Vaidhyanathan, V. Thangadurai, C. I. Ratcliffe, I. L. Moudrakovski and G. K. H. Shimizu, *Nature Chemistry* 1 (2009) 705.

2.3 Kommersiella framsteg

Den kommersiella utvecklingen går stadigt framåt. Hittills finns mer än 50 kommersiella produkter på marknaden. År 2009 motsvarade marknaden i området 498 miljoner USD och antalet levererade bränsleceller var 15 000 utav 24 000 system totalt. Prognosen är att marknaden spås bli 598 miljoner USD 2010 och 1,22 miljarder för motsvarande 1.5 GW levererat 2014.

2.3.1 Utvecklingen inom fordonssektorn

Transportsektorn är starkt drivande i bränslecellsutvecklingen och domineras nästan helt av PEMFC teknologin. Största faktorn är lågtemperatursystemen drivna på vätgas och de vinner marknad från metanoldrivna. Organisationen Fuel Cell Today (www.fuelcelltoday.com) rapporterar att antalet levererade system 2010 har mer än fördubblats sedan 2007. APU-system dominerar med mer än 2/3 av marknaden följt av truckar (1/6), system för flygindustrin (bl.a. förarlösa farkoster) och sedan lätta fordon.

Trots att batteridrivna fordon är på stark frammarsch ökade ändå marknaden för bränslecellsdrivna lätta fordon främst i Kalifornien och i Tyskland. Ett avgörande steg i bränslecellsutvecklingen var att de ledande fordonstillverkarna inom bränslecellsteknik - Daimler AG, Ford Motor Company, General Motors Corporation/Opel, Honda Motor Co, Ltd, Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, alliansen Renault SA och Nissan Motor Co, Ltd och Toyota Motor Corporation skrev på ett Letter of Understanding (LOU) i september 2009, där de gjorde ett gemensamt uttalande för utvecklingen och marknadsintroduktionen av elbilar med bränsleceller. Uttalandet markerar ett stort steg mot serieproduktion av utsläppsfria fordon. Biltillverkarna räknar med att redan från och med 2015 skall ett betydande antal elbilar med bränsleceller kommersialiseras med målet att inom snar framtid få sålt några hundra tusen fordon globalt. Demonstrationsprojekt med vätgasstationer har visat att produktion, lagring, transport och spridning av effektiv utrustning för vätgas som bränsle är tekniskt genomförbart. Undertecknade tillverkare stöder att en vätgasinfrastruktur byggs upp med tillräcklig täthet från storstadsområden via korridorer ut i vidare områden. I Europa ser man Tyskland som regional utgångspunkt och i övriga världen blir USA, Japan och Korea andra utgångspunkter. Enligt fordonstillverkarna kommer det 2014 att finnas 4000 fordon i Kalifornien och 50000 2017. Under 2017 kommer 1000 tankstationer vara igång i Tyskland och i Japan planeras 1000 tankstationer och 1 miljon bränslecellsdrivna fordon till år 2025.

Sverige gästades nyligen av en av männen bakom elhybriden Toyota Prius, Katsuhiko Hirose. Han berättade att Toyota satsade mycket stort på bränslecellstekniken. Hans slutsats efter 2,5 miljoner sålda elfordon var att ren batteridrift är dyr och tung och därför bara lämpar sig för små och lätta bilar som körs korta sträckor. Bränslecellsdrift däremot (naturligtvis i kombination med batteri som elhybrid) kan användas i större fordon som bussar, som tar många fler människor vilket markant ökar den totala miljövinsten. Men han framhöll att det främsta argument till införandet av vätgassamhället är den samhällsekonomiska vinsten av att minska oljeberoendet. Importen av olja leder till ett stort utflöde av kapital till de oljeproducerande länderna som istället kan generera arbete och kapital inom landet i kedjan av vätgasproduktion och distribution.

2.3.2 Utvecklingen i USA

Den amerikanska energimyndigheten DOE har ett stort pågående bränslecellsprogram där har satsat upp mot 200 miljoner USD årligen på forskning och utveckling. De senaste åren har de dock dragit ned på stödet på grund av den ekonomiska krisen, vilket har fått stor kritik. Målet i 2010 års plan var att utveckla bränsleceller för:

- För den tidiga marknaden 2010-2012: stationär kraft (primär och backup), truckar och portabel energi.
- För en mer mogen marknad 2012-2015: kombinerade värme- och kraftsystem för byggnader, APUs, bussar.
- På längre sikt 2015-2020: vanliga fordon med fokus på lätta fordon.

Hittills har USA producerat 9 miljoner ton vätgas och över 1200 miles vätgasledningar och har mer än 200 bilar, 15 bussar och 60 tankstationer.

2.3.3 Europa och Tyskland

Tyskland är utan tvekan de som satsat mest och ligger längst framme vad gäller bränsleceller i Europa. De har ett stort nationellt program och flera regionala för alla typer av bränsleceller. Många universitet och forskningsinstitut (Fraunhofer ISE, Forschungszentrum Jülich, ZSW, DLR, HIAT och ZBT) har stor aktivitet inom PEMFC, DMFC och vätgas och de har många företag, inte minst fordonstillverkarna: DaimlerChrysler, Opel, Audi, BMW, VW, MAN, och rena bränslecells företag: Umicore (MEA), Smart Fuel Cell (portabla DMFC), Ballard (PEMFC), Proton Motor (PEMFC), och Heliocentris liksom inom gas och infrastruktur som Linde och ARAL.

Daimler som hitintills satsat över 1 miljard Euro på utveckling av bränslecellstekniken har nyligen gjort en bilresa med sin bil F-Cell hela 30 000 km genom 14 länder som fordonet klarade utmärkt trots olika klimat och väglag. I Tyskland finns idag totalt 260 bränslecellsfordon och de kan nu tanka på världens hittills största tankstation i Berlin som skall kunna försörja 250 fordon dagligen. Man räknar med att det skall finnas 30 stationer (à 1 miljon Euro) redan 2014 i Tyskland.

Inom EU stödjer FCH JU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) forskning och utveckling inom bränsleceller och bara år 2011 delas 109 miljoner Euro ut till olika samarbetsprojekt.

2.3.4 Japan och Korea

I föregående teknikbevakning rapporterade vi om det stora program för att kommersiellt introducera PEMFC för småskalig kraftvärme som fortfarande pågår 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 januari 2011 hade 13 737 små system installerats. 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 utformade för stadsgas (metan), LPG (propan och butan) respektive fotogen har installerats. Den totala verkningsgraden är 80 % eller högre.

Projektet har genererat mängder med data avseende systemens prestanda, men även hur hushållens energianvändning ser ut. Alla inblandade intressenter har tillgång till dessa data, med målsättningen att successivt allt konkurrenskraftigare system ska utvecklas. Ett system idag kostar runt 3 miljoner Yen, vilket motsvarar ungefär 250 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 (ca 50 kkr). Sedan 2005 har tillverkningskostnaden redan nu mer än halverats. Varje system subventioneras än så länge med maximalt 1,05 miljoner Yen, men från år till år sjunker bidraget per system från staten och kommer maximalt att täcka halva installationskostnaden. Hela projektet har för 2011 en budget på 8,67 miljarder Yen (ca 700 miljoner kr). Systemen lanseras under namnet "ENE-FARM", och ytterligare information finns på www.ene-farm.info/en/.

Även Korea har stora program för små stationära bränslecellssystem på 1 kW för kombinerat värme och elkraftverk (mCHP) i hus. Utvecklingen har starkt stöd från stat och kommun. Staten stöder också tillverkning av komponenter.

2.3.5 Norden och Sverige

Det svenska företaget myFC AB har 2011 kommit fram till en produkt som kan ses i Figur 6. Det är en elektronikladdare vid namn PowerTrek som skall börja säljas i oktober 2011. Bränslet är förpackat i en slagtdålig puck av aluminium där vätet finns lagrat i en blandning av natrium och kisel. Varje puck innehåller energi motsvarande ett litiumjonbatteri på 3,7 V och 1080 mAh. Laddaren innehåller också ett litiumjonbatteri. Batteriet fungerar som en buffert och kan dessutom ta hand om den energi som inte går åt vid laddningen. Laddaren startas med att man fyller på vatten i en behållare på bränslepucken innan man stoppar i den i laddaren varpå det bildas vätgas som driver bränslecellen. Den primära målgruppen är friluftsmänniskor och hjälparbetare. Själva laddaren kommer att kosta runt 1550 kronor och varje laddning går på cirka 12 kronor.



Figur 6. Elektronikladdaren PowerTrek från svenska MyFC AB.

Med stöd från Statoil har 10 bränslecellstruckar beställts till Risavika hamn utanför Stavanger som del av ett EU projekt med sammanlagt 30 truckar till olika platser i Europa. Truckarna är de första europeiska på marknaden och tillverkas i Danmark där H2 Logic AS svarar för bränslecellssystemet och Dantruck för trucken. Truckarna kommer att följas upp av SINTEF forskningsinstitut i Trondheim som hoppas på att kunna studera prestanda över tid och med resultaten kunna optimera användningen och systemet. Genom att använda bränslecellstruckarna i två 8-timmarsskift dagligen beräknas CO₂-utsläppen minskas motsvarande utsläppen från 8 privatbilar.

I Danmark satsar man också stort på bränslecellssystem både som backup och som lokala kombinerade kraft- och värmeverk (micro-CHP) som kan kombineras med vindkraftverk och elektrolysör, eller en biogasanläggning för att med överskottsenergi kunna lagra vätgas och sedan använda kraften vid behov. I Danmark där importelen är mycket dyr spås systemet få en positiv inverkan på elpriset. Danmark har flera bränslecells företag, där ibland det vinstbärande Dantherm Power som ägs till hälften av Ballard och levererar PEMFC system för backup-kraft och avbrottsfri el (UPS) men även lokala kontinuerliga kraft- och värmeverk med Ballards bränslecellsstackar.

3 Vad händer i Sverige nu och framåt?

3.1 Verksamhet vid svenska lärosäten

Mistras bränslecellsprogram, som var den största nationella forskningsprogrammet inom området PEMFC avslutades 2009. Programmet startades 1997 och engagerade dels forskargrupper vid LTH, Chalmers och KTH, dels ett halvduzin företag. Som en fortsättning på Mistra-programmet pågår nu tillsammans med bl a Elforsks teknikbevakningsprogram diskussioner om ett nationellt kompetenscentrum eller liknande för bränsleceller.

I juni 2011 anordnades två arbetsseminarier inom bränsleceller i Sverige. Workshopen "Bränsleceller och Material" vände sig till kretsen forskare och berörda företag i branschen för att få en samlad bild av vad som görs och kan göras i Sverige idag och hur industri och högskola bättre kan samverka. Workshopen "Biogas och Bränsleceller" vände sig till aktörer intresserade av bränsleceller i kombination med biogas för kraft- och värmeproduktion med syftet att se över möjligheterna att få igång svenska demonstrationsprojekt.

Bränslecellsverksamhet inom PEMFC finns idag på KTH, UU, Chalmers, och LU. Verksamheten täcker membranutveckling såväl som elektrodutveckling och systemutveckling med syntes, elektrokemiska experiment och matematisk modellering. Flera forskargrupper har verksamhet som rör bipolära plattor. Generellt håller forskningen god kvalitet och flera punkter diskuterat i 2.2 fokuseras det på så som alternativa membran och bärarkol, kunskap om vattenhantering, inverkan av föroreningar, degradering, stackdesign och bipolära plattor samt reformersystem och APUer.

Idag är dock den nationella finansieringen nere på ett minimum, och exempelvis finansierar sannolikt inte längre Energimyndigheten bränslecellsprojekt inom sitt program "Energieffektiva i vägfordon". Det finns fortfarande en handfull doktorander inne i systemet, men i takt med att dessa examineras utarmas nu allt mer högskoleverksamheten inom området. Den finansiering till området som återstår för svenska universitet är genom aktivitet i olika EU-projekt och nätverk.

3.2 Kommersiell verksamhet i Sverige

Den största nationella kommersiella aktören inom området polymerbränsleceller är Powercell AB. Inriktningen är mot hjälpkraftsystem (APU, Auxillary Power Units) för fordon och båtar. De system som utvecklas är på 5-10 kW med integrerad reformering av diesel. Powercells APU väckte nyligen stort intresse på Hannovermässan. De har nyligen inrättat ett testcentrum för bränsleceller i sina lokaler och är på gång att serietillverka bränslecellsstackar. Andra företag inom PEMFC är myFC inom portabla bränsleceller som redan nämnts och Cellkraft som tillverkar PEMFC (50-3000 W) för t ex backup och befruktare till dem. De senare har utvecklat sin stack

att bli mindre och lättare. Sverige har också företag inom tjänstebranschen som erbjuder testning (intertek, ETC, mm) och modelleringsverktyg (Comsol). Ett ökat intresse för bränsleceller visar svensk stålindustri, där bland Sandvik och Outokumpu, som hoppas kunna vara en viktig framtida aktör på världsmarknaden inom bipolära plattor.

3.3 Framtida utveckling i Sverige

Det saknas ett nationellt program i Sverige för utvecklingen av PEMFC för stationär kraftvärmeproduktion, trots att området växer globalt. PEMFC-system kan drivas med de flesta typer av bränslen, även förnybara såsom biogas, och är inte beroende av ren vätgas. Lokal kraftvärmeproduktion med elverkningsgrader upp mot 40 % och totalverkningsgrader på över 80 % kan förväntas, samtidigt som systemkostnaderna kommer att sjunka och livslängden förbättras. Bränslecellstekniken skulle därigenom kunna bli en viktig länk i ett flexibelt svenskt energisystem uppbyggt kring förnybara bränslen. En förutsättning för detta är dock att det framöver initieras nya nationella forskningsprogram inom området bränsleceller såväl som för fortsatt kompetensutveckling och utbildning av kompetenta personer på högskolorna. Tiden är mogen för nya forsknings- och demonstrationsprojekt med stationära PEMFC-system som drivs med förnybara bränslen.

Även inom andra tillämpningar av PEMFC är det viktigt att det finns verksamhet på universiteten både för att ta fram ny kunskap till gagn för bränslecellsområdet och för att utexaminera kompetenta personer, doktorer och ingenjörer med masterexamen som kan bidra till bränslecellsutvecklingen i våra svenska företag. Om de stora fordonstillverkarna i Japan, Korea och Tyskland lyckas få bränslecellsfordon att ingå som en betydande del av bilparken internationellt tvingas även Sverige att hänga med. Då kommer kompetens inom området att vara en bristvara.

I workshopen för bränsleceller och material framkom att det finns en stark önskan både från akademi och från företag att samordna bränslecellsaktiviteterna under ett paraply och skapa ett kompetensnätverk eller centrum för bränslecells forskning i Sverige för att kunna säkra finansieringen och för att förbättra den tekniska utvecklingen. Arbetet har påbörjats för att finna en form för nätverket. Elforsk har planer på att fortsätta att stödja workshop och sammankomster.

I brist på stöd från energimyndigheten tar KTH och Chalmers egna initiativ att inom respektive energiplattformar göra en satsning på bränslecells forskning. Ett första steg i denna satsning är en gemensam kartläggning av pågående aktiviteter inom området i Sverige. Även den strategiska satsningen StandUp for Energy med UU, KTH och SLU har aktiviteter inom området bränsleceller.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se