



LUND UNIVERSITY

Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2012

Andersson, Martin; Sundén, Bengt

2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Andersson, M., & Sundén, B. (2013). *Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2012*. Elforsk. http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=13_23_

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2012

Elforsk rapport 13:23



Martin Andersson, Bengt Sundén

Mars 2013

Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2012

Elforsk rapport 13:23

Förord

För att hålla Energimyndigheten, Elforsks intressenter och övriga bränslecells-intressenter uppdaterade på vad som sker inom bränslecellsområdet, har projektet Teknikbevakning av bränslecellsområdet (Elforsk projektnummer 25097) genomförts under 2012. Målet med projektet har varit att samla in och sprida information bland Elforsks intressenter, landets forskare och näringsliv om den senaste utvecklingen inom bränslecellsområdet.

I huvudsak har utvecklingen följts med utgångspunkt från IEA Implementing Agreement on Advanced Fuel Cells med ett delprojekt för varje annex, men också genom bevakning av intressanta konferenser och aktiviteter inom området. Denna rapport är en av ett tiotal delrapporter som tas fram inom projektet. Rapportens huvudsakliga slutsatser presenteras i en syntesrapport för hela teknikbevakningsprojektet (Elforsk rapport 13:30). Samtliga rapporter finns publicerade och fritt nedladdningsbara på Elforsks webbplats för bränslecellsbevakningen på adressen www.branslecell.se. Projektet har till största delen finansierats av Energimyndigheten. Volvo och Vätgas Sverige har bidragit med egeninsatser.

Styrgruppen för projektet, som också deltagit aktivt i projektgenomförandet, har bestått av följande ledamöter: Bernt Gustafsson och Greger Ledung Energimyndigheten, Göran Lindbergh KTH, Bengt Ridell Grontmij AB, Eva Fontes och Emelie Wennstam Intertek Semko, Mohsen Assadi och Bengt Sundén LTH, Hans Pohl, Erik Wiberg Vätgas Sverige och Bertil Wahlund Elforsk AB. Elforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser.

Stockholm mars 2013

Bertil Wahlund

Programområde El- och värmeproduktion

Elforsk AB

Sammanfattning

Den första fastoxidbränslecellen (SOFC) utvecklades redan 1937, dock har den stora kommersialiseringen väntat. Under 2012 förväntas 20 MW SOFC-system att levereras till kund, att jämföras med 1,3 MW under 2008. Det är främst inom specifika nischmarknader, t.ex. lokal kraftgenerering till datacenter, småskalig kraftvärme för enskilda hushåll samt för militära ändamål där SOFC-system är tillgängliga i dag. Den framtida potentialen är stor inom nämnda områden och även för t.ex. distribuerad kraftgenerering i MW-skala samt för APUer i lastbilar och andra fordon.

Det finns offentliga forskningsprogram, stöd till demonstrationsprogram samt investeringsbidrag till privatpersoner och företag i olika former runt om i världen. EU satsar i FCH-JU 666 miljoner SEK (fördelat på vätgas, bränsleceller för transport, stationära system och kraftvärme) bara under 2012, jämfört med 1,59 miljarder SEK i det japanska programmet (varav 125 miljoner SEK direkt till SOFC och 740 miljoner SEK till ENE-FARM projektet att fördelas mellan PEMFC och SOFC). Det tyska vätgas och bränslecellsprogrammet är på 12 miljarder SEK under 2006-2016 (varav 54 % till transportapplikationer, 36 % till stationära applikationer och 10 % till speciella applikationer), att jämföra med det finska programmet som satsar 1,3 miljarder SEK under 2007-2013 på SOFC och PEMFC. I det amerikanska (USA) programmet för fossil energiforskning riktas det under 2013 160 miljoner SEK till SOFC-forskning. Danmark satsar något över 115 miljoner årligen av offentliga medel på bränslecells forskning som fördelas till SOFC och PEMFC. Trenden är att andelen offentliga medel till demonstrationsprojekt och till stöd för kunder att köpa förkommersiella produkter ökar på bekostnad av medel till ren grundforskning. Notera att de uppräknade forskningsprogrammen innefattar olika typer av bränsleceller och information gällande hur stor andel som går till SOFC inte är specificerad.

Forskargrupper fortsätter att leverera nya framsteg. Forskare vid Harvard har påvisat att en SOFC, med vanadinoxid i anoden, kan lagra en viss mängd elektrokemisk energi, d.v.s. fortsätta att producera en viss effekt även efter det att bränslet tagit slut. Vid Huazhonguniversitetet har produktionsmetoden med plasmasprutning vidareutvecklats. En ny metod med flerfasig sprutning har utvecklats för att övervinna begränsningarna med en olikformig fördelning av porer och partiklar med traditionell plasmasprutning. I Nature Scientific Reports har det rapporterats att en oxidhybrid, med en nanoporös $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ (SSC) katalysatorbeläggning bunden på den interna ytan av ett högporöst $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (LSGM) substrat, uppvisar en överlägsen katalytisk aktivitet för syrereduceringsreaktioner.

ENE-FARM ett litet kraftvärmesystem för enskilda hushåll har stora framgångar på den japanska marknaden och det förväntas säljas ca 20000 system under 2012 (varav ca 10 % SOFC), och år 2015 är förväntningarna 50000 system (varav uppskattningsvis 25 % SOFC). Bloom Energy i USA har levererat system i MW-skala till många datacenter som behöver en hög tillförlitlighet till elektricitet och kanske även en miljövänlig image. Ceramic Fuel Cells säljer sina produkter "BlueGen" och "Gennex" i en förkommersiell fas främst på den tyska, brittiska och nederländska marknaden. Det bör noteras att statliga stödsystem, t.ex. feed-in-tariffer eller investeringsbidrag är viktiga för att få ut bränslecellssystem på marknaden i en större skala.

Summary

The first solid oxide fuel cell (SOFC) was developed in 1937. However, the commercialization has waited. In 2012, 20MW of SOFC-systems are expected to be delivered to customers, compared to 1.3 MW in 2008. It is mainly in specific niche markets, such as on-site power generation for datacenters, small-scale CHP for individual households and as military applications, where SOFC systems are available today. The future potential is enormous in the just mentioned areas as well as for APUs in trucks and other vehicles as well as for MW-scale distributed power generation.

There are public research program, support for demonstration projects and investment support to private households as well as companies in various terms around the world. EU invests SEK 666 million (distributed at hydrogen, fuel cells for transportation, stationary systems and cogeneration) in the FCH-JU program only in 2012, compared with SEK 1.59 billion in the Japanese program (of which 125 million is directed to SOFC research and 740 million to the ENE-FARM project to be distributed between PEMFC and SOFC). The German hydrogen and fuel cell program is SEK 12 billion during 2006-2016 (of which 54% to transportation applications, 36% to stationary applications and 10% to special applications), compared with the Finnish program that invest SEK 1.3 billion in 2007-2013. The federal SECA program directs SEK 160 million to SOFC research. Denmark goes slightly over SEK 115 million annually in public funds for fuel cell research. The trend is that the proportion of public funding for demonstration projects and support to customers for purchasing pre-commercial products is increasing at the expense of basic research funding. Note that the listed research programs involve different types of fuel cells, and information regarding the percentage that goes to SOFCs is not specified for each case.

Research continues to deliver new advances. Researchers at Harvard have shown that a SOFC, with vanadium oxide in the anode, can store a certain amount of electrochemical energy, i.e. continue to produce a certain effect even after the fuel run out. At the Huazhong University the production method of plasma spraying has been further developed. A new method of multi-phase plasma spraying has been developed in order to overcome the limitations of a non-uniform distribution of pores and particles by the conventional plasma spraying. In Nature Scientific Reports has been reported that an oxide hybrid, featuring a nanoporous $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ catalyst coating bonded onto the internal surface of a high-porosity $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (LSGM) backbone, exhibited superior catalytic activity for oxygen reduction reactions.

ENE-FARM a small CHP system for individual households has great success on the Japanese market and it is expected to sell about 20,000 systems in 2012 (of which approximately 10 % SOFC), and expectations for year 2015 are 50,000 systems (of which on an estimate 25 % SOFC). Bloom Energy, in the United States, has supplied systems in the MW scale to many data centers, which require high reliability to electricity as well as a good environmental reputation. Ceramic Fuel Cells sells its products "BlueGen" and "Gennex" in a pre-commercial phase, mainly on the German, British and Dutch market. It should be noted that governmental support systems, such as feed-in tariffs are important to get more fuel cell systems to the market.

Innehåll

1	Tekniköversikt	2
1.1	Bränslecellens tidiga utveckling	2
1.2	Hur fungerar en bränslecell?	2
2	Nyheter och utvecklingstrender	5
2.1	Generella mål för bränslecellsutveckling.....	7
2.2	Potentiella kunders motivation	7
2.3	Offentligt stöd och offentliga bränslecellsprogram.....	9
2.3.1	Europa	9
2.3.2	Japan	14
2.3.3	Sydkorea	15
2.3.4	USA	15
2.3.5	Kanada.....	17
2.4	Vetenskapliga framsteg	18
2.4.1	Anod	18
2.4.2	Katod	21
2.4.3	Fogmaterial (Interconnect)	22
2.4.4	System	22
2.5	Kommersiella framsteg och demonstrationsprojekt.....	22
2.5.1	Japan	23
2.5.2	USA	24
2.5.3	Storbritannien	26
2.5.4	Schweiz	26
2.5.5	Tyskland	27
2.5.6	Australien	28
2.5.7	Danmark.....	31
2.6	Analys – Hur ser det ut för Sverige?	33
3	IEA Annex 24 (Solid Oxide Fuel Cells)	35
4	Appendix	36
4.1	Ordlista.....	36
4.2	Valutakurser	38

1 Tekniköversikt

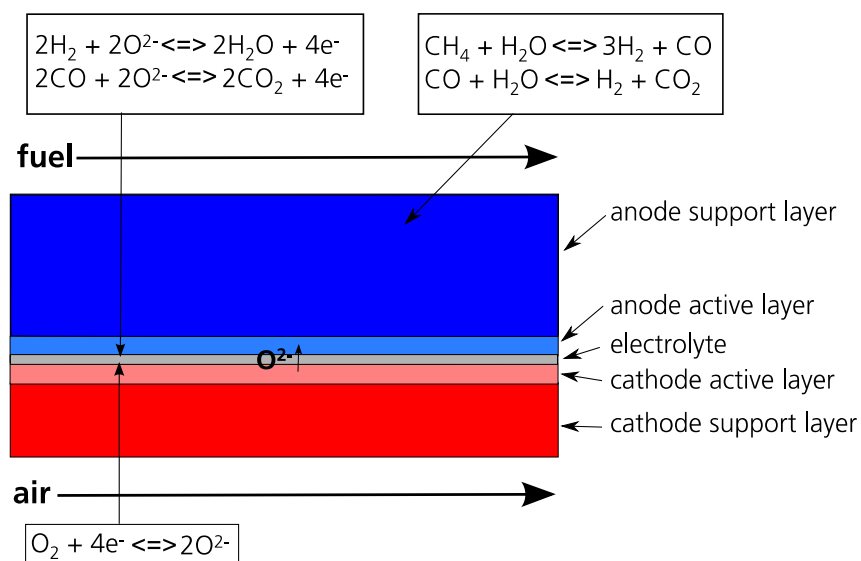
1.1 Bränslecellens tidiga utveckling

Bränslecellen är ingen ny uppfinning, idén kommer från år 1838 och Christian Friedrich Schönbein (verksam vid universitet i Basel) och William Robert Grove (verksam vid Royal Institution of Great Britain). Det dröjde dock fram till 1950-talet innan kompletta bränslecellssystem var konstruerade. Anledningen till att utvecklingen var långsam till en början kan till stor del förklaras med tillgången till billig olja. Bränsleceller blev mer allmänt kända då de användes som kraftkälla i det amerikanska rymdprogrammet Apollo. Forskningen har ökat mycket under senare år på grund av ökade bränslepriser och diskussionen kring växthuseffektens påverkan på jordens klimat. Fastoxidbränslecellen (SOFC) utvecklades av Baur och Preis 1937, för att få en mer hanterbar elektrolyt.

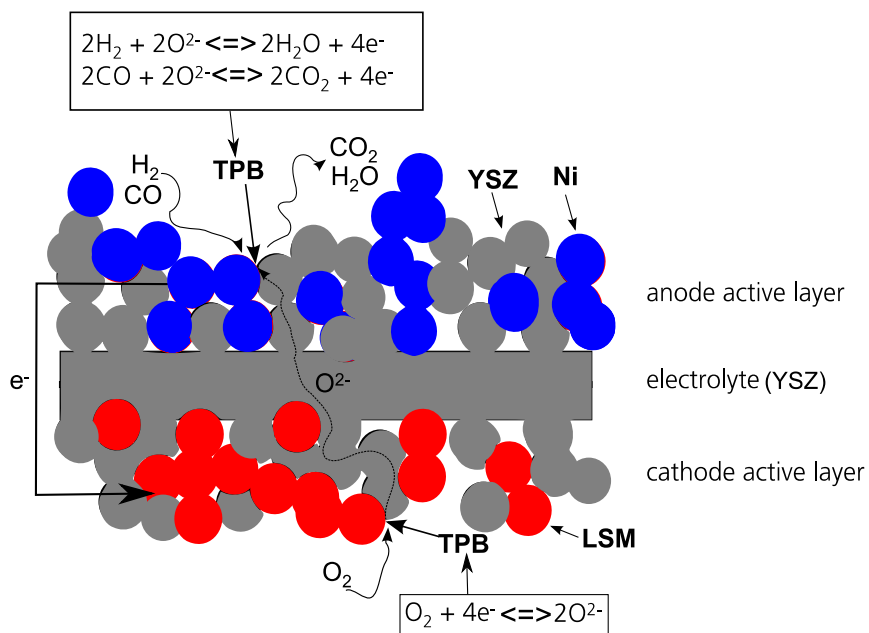
1.2 Hur fungerar en bränslecell?

Den enklaste formen av en bränslecell bygger på att syre och väte reagerar med varandra och bildar vatten. En bränslecell är uppbyggd av en anod, en katod och en elektrolyt (se Fig 1-2). En anod är den del i en elektrolytisk cell som är förbunden med strömkällans positiva pol, och katoden är sammanbunden med dess negativa pol. Elektrolyten kan liknas vid ett membran. Det gasformiga bränslet transporteras till anoden där det reagerar i elektrokemiska reaktioner med syrejoner. Syrejonerna produceras i katoden där syre reagerar med elektroner till jonform. Syrejonerna transporteras igenom elektrolyten för att nå bränslet i anoden. Elektronerna släpps inte igenom elektrolyten, vilket gör att en spänning uppstår. Den givna beskrivningen gäller för vad som sker i en fastoxidbränslecell, men också övriga typer av bränsleceller är uppbyggda enligt motsvarande principer. Fastoxidbränsleceller har en hög arbetstemperatur, elektrolyten, bestående av en fastoxid, är utformad för att endast släppa igenom syrejoner som transporteras från katoden till anoden. Skillnaden mellan olika typer av bränsleceller är främst vilken typ av elektrolyt som används och bränslecellens arbetstemperatur.

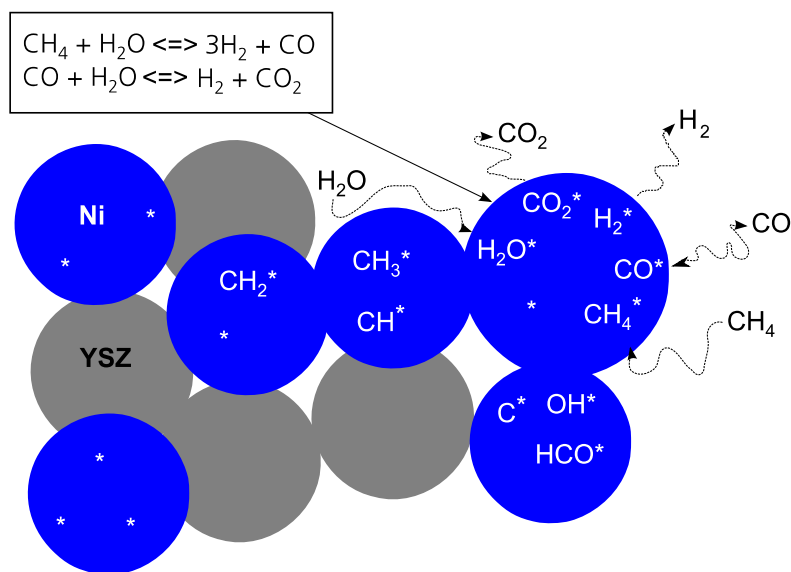
Bränsleceller producerar elektricitet och värme direkt från kemiska reaktioner mellan bränsle och luft. Vilket bränsle som kan användas beror på typ av bränslecell. När ren vätgas eller biogas används blir det inga nettoutsläpp av koldioxid, hälsoskadliga partiklar eller kväveoxider om produktionen av bränsle är ren. Processen är på så sätt helt miljövänlig och koldioxidneutral. En fördel med fastoxidbränsleceller är att det är möjligt att använda kolväten, t.ex. metan. Med metan som bränsle reformeras bränslet inne i anoden (se Fig 3) till väte och kolmonoxid som kan användas i de elektrokemiska reaktionerna (se Fig 2). Även "tyngre kolväten" med längre kolkedjor kan användas som bränslen i ett SOFC-system, dock behövs en förreformerare där bränslet reagerar med syre och/eller vattenånga innan det leds in i bränslecellsstacken.



Figur 1. Schematisk bild av en SOFC i cellskala.



Figur 2. Schematisk bild av de elektrokemiska reaktionerna som sker i en fastoxidbränslecell.



Figur 3. Schematisk bild av de interna reformeringsreaktionerna som sker i fastoxidbränslecellens anod.

I en bränslecellsstack staplas många enskilda celler till ett cellpaket, där den elektriska strömmen seriekopplas, dock är gasflödena parallella. Varje enskild cell har vid drift en cellspänning på ca 0.7 V och en strömtäthet på 0.5-2 A/cm², dvs en effekttäthet på över 1 W/cm². Antalet celler (per cellpaket) bestämmer cellspänningen och den katalytiskt aktiva ytan (m²/m³) bestämmer strömtätheten/strömstyrkan per cell. Olika cellpaket kan kopplas ihop antingen i serie eller parallellt. En SOFC (av andra generationen) arbetar vanligen vid 700-800°C. En högre temperatur leder till en högre strömtäthet och eller spänning, dock kan livslängden minska och tillverkningskostnaden stiga. En elektrisk verkningsgrad på 60 % är möjlig, och ännu högre vid kombinationer med gasturbiner. Vidare kan ofta även värme tas till vara, varför den totala verkningsgraden kan vara 95 %. Användning av höggradig överskottsvärme för att reformera ett kolväte kan öka systemverkningsgraden.

2 Nyheter och utvecklingstrender

Notera att denna rapport fokuserar på SOFC. Dock är de offentligt finansierade bränslecellsprogrammen vanligtvis gemensamma för olika typer av bränsleceller, vilket gör att avsnitt 2.3 huvudsakligen beskriver bränsleceller generellt oberoende av typ. Även när det gäller introduktionen till avsnitt 2 nedan, avsnitt 2.1-2 (generella mål för bränslecellsutveckling samt potentiella kunders motivation), introduktionen till avsnittet om kommersiella framsteg och demonstrationsprojekt (avsnitt 2.5) samt ENE-FARM projekts kommersialisering i Japan (avsnitt 2.5.1) beskrivs även andra typer av bränsleceller, då det ger läsaren en ökad helhetsförståelse. Vidare är SOFC, andra typer av bränsleceller, och i vissa fall även andra typer av förnyelsebar energiteknik beroende av liknande offentliga marknadsintroduktionsstöd.

Bränsleceller anses vara i kommersiell tillverkning från och med år 2007. Produktion i stor skala har startat för ett antal nischmarknader inom rymdprogrammen, för militära ändamål, som reservkraft för till exempel sjukhus eller mobilmaster, småskalig kraftvärme för enskilda hushåll samt som en tillförlitlig (och miljövänlig) kraftgenerering till datacenter. Inom några år kommer sannolikt bränslecellssystem att vara mer vanliga inom fordonsindustrin. Det är en enorm marknad som hägrar och marknadens i dag mest effektiva bränslecellsdrivna bil har nästan tre gånger så hög verkningsgrad som en bensinmotor. En ökad forskning och utveckling på bränsleceller kommer att leda till en ökad ekonomisk tillväxt.

Under 2011 registrerades fler än 950 bränslecellsrelaterade patent. Allteftersom bränslecellen kommersialiseras blir det viktigare med integration och samverkan med sol, vind, biogas, naturgas och batterier. Det är en stor potential som väntar då stora globala företag har börjat installera bränsleceller på ett antal platser (sites), dock finns det många platser kvar för potentiella installationer. Det noteras att det är viktigt med återkommande kunder för att få tekniken att växa. (Jennifer Gangi, Fuel Cell 2000, presentation på Fuel Cell Seminar 2012).

Den totala globala investeringen i bränslecellsforskning (från industri och offentliga medel) uppskattas till 22 miljarder \$ (145 miljarder SEK) mellan 1995 och 2012. Fler än 180 företag och laboratorier har varit aktiva. Det skall noteras att vinsterna i bränslecellsbranschen har hitintills lyst med sin frånvaro. Den privata sektorns investeringar har varit störst i Japan (6,76 miljarder \$ = 45 miljarder SEK), något mindre i Europa (4,8 miljarder \$ = 32 miljarder SEK) och ännu mindre i USA (2,40 miljarder \$ = 16 miljarder SEK) under 1995-2012. Notera att i Europa matchar medlemsstaterna vanligtvis EU och satsar ungefär lika mycket. När det gäller AFC (första bränslecellen), har mycket resurser satsats, dock återstår endast 2 företag. När det gäller SOFC är ca 74 företag verksamma, dock har endast ca 10 % kommersialiserat sina produkter. För MCFC finns endast 1 företag kvar. För PEMFC är ungefär 60 företag verksamma, många har kommersialiserat sina produkter. Det kan noteras att för 15 års sedan satsade 15 bilföretag på bränsleceller, idag

fortgår forskning och utveckling endast hos 5 stycken (Noriko Behling, presentation på Fuel Cell Seminar 2012).

Det skall noteras att under 2011 räknas KTH Chalmers Capital AB (med Wallenbergstiftelserna, Industrifonden, SEB, KTH, Chalmers och Innovationsbron som investerare) till den 10:e största riskkapitalinvesteraren (i världen) i bränslecellsteknologi med investeringar på 3,4 miljoner \$. Vidare placerar sig Sverige på plats nummer 8 när det kommer till privata investeringar i bränslecellsteknologi med 33,2 miljoner \$ under år 2000-2011 (US Department of Energy, 2011 Fuel Cell Technologies Market Report).

Betydelsen av naturgas som bränsle har ökat signifikant under de senaste åren. I USA ses naturgas som en lösning för nationell säkerhet och inhemska jobb. Kunskap i dag säger att USA har den naturgas som behövs åtminstone i ytterligare 100 år. Fördelarna med bränsleceller i truckindustrin är stora. Det är en bra nischmarknad då mycket tid sparas, tar ca 15 min att byta batteri, att tanka en bränslecell tar 2-3 min. En annan skillnad är att bränslecellen ger konstant effekt över tid, att jämföra med en minskande effekt för batterier. Ett problem för mindre anläggningar är kostnaden för vätgasinfrastruktur. Vidare är det platsbesparande att undvika ytan för batteriladdning. Det finns en potential för SOFCer i truckar, främst p.g.a. den i princip kontinuerliga driften i ett större lager kombinerat med den höga elverkningsgraden för SOFC. Bränslecellsbaseade kraftvärmesystem minskar utsläppen av koldioxid signifikant, jämfört med dagens alternativ. Inte att förglömma är de försumbara utsläppen av NO_x , SO_x , och CO. Historik i USA visar att distributionsnätet för naturgas är mer tillförlitligt jämfört med elnätet. Naturgasinfrastrukturen kan användas för att lagra energiöverskott från vind som förväntas bli stora på vissa elnät framöver. Luftföroreningar var den första regleringen för biltillverkare (NO_x , SO_x , CO). Nu är fokus på klimatförändring (CO_2). Framöver kommer fokus att förflyttas mot energieffektivitet. Möjligheten att skriva långa kontrakt för naturgaspriset kan vara en nyckel för vidare kommersialisering av bränsleceller (Paneldiskussion på Fuel Cell Seminar 2012: Kent McCord, UTC Power & Jeffery Reed, Southern California Gas & Andy Marsh, Plug power & Kathryn Clay, Drive Natural Gas Initiative & Stephen Ellis, America Honda Motor).

Whitney Coella på Strategic Analysis har undersökt kostnader för olika tilltänkta systemstorlekar (1, 5, 25 eller 100 kW) och systemantal (100, 1k, 10k och 50k). Som metod för analysen används DFMA (Design for Manufacturing and Assembly). En jämförelse mellan LTPEM, HTPEM och SOFC görs. Det konkluderas att kapitalkostnaden per kW minskar med systemstorlek. För de mindre systemen blir kapitalkostnadsskillnaden betydligt större när produktionen skalas upp. Vidare ökar stackens andel av systemkostnaden för större system. Whitney rekommenderar att fokus bör läggas på BOP (balance of plant) för att minska kostnaden inför vidare kommersialisering. Nätoberoende möjlighet ökar kostnaderna med ca 10 %. SOFC har något lägre kapitalkostnad jämfört med PEM-system. För den intresserade kommer rapporten att publiceras på: www.sainc.com (Whitney Coella, presentation på Fuel Cell Seminar 2012)

2.1 Generella mål för bränslecellsutveckling

Problemen och utmaningarna med dagens energisystem är både globala och lokala med utsläpp av bland annat koldioxid, hälsoskadliga partiklar och kväveoxider. Man vet att det finns en begränsad mängd av fossila bränslen och det diskuteras hur länge mänskligheten kan fortsätta att utvinna olja i samma takt som idag. Möjligheten av en ren, miljövänlig och energieffektiv bränsleanvändning driver utvecklingen av bränsleceller och bränslecellssystem framåt i ett allt snabbare tempo. Det som kommer att bestämma tillväxten inom bränslecellsområdet är hur snabbt tillverkningskostnaden kan sänkas, livslängden ökas samt utvecklingen av energipriserna.

Kostnader för bränsleceller och bränslecellssystem fortsätter att sjunka, med en minskning på 80 % sedan 2002 och på 30 % sedan 2008 enligt amerikanska DOE (Department of Energy, 2011 Fuel Cell Technologies Market Report). DOE uppskattar kostnaden för systemet till de delar som är utanför stacken att vara minst lika höga som för själva stacken. DOE har en målkostnad för ett stationärt SOFC-system på 140 \$ per kW (920 SEK/kW), vilket är beskrivet i kapitel 2.3.4. Fördelarna med ett SOFC-system jämfört med andra typer av bränsleceller är en förenklad systemstruktur (då toleransen mot föroreningar i bränslet är högre) och en högre elverkningsgrad.

När det gäller storleken för SOFC-system går trenden mot mindre ytbehov. Som exempel kan nämnas Bloom Energys 200 kW system som lanserades 2012, har samma ytbehov som deras tidigare 100 kW system (gigaom.com/cleantech). Även ENE-FARM-systemen minskar i storlek. Tokyo Gas lanserade under 2012 ett system som upptar 49 % mindre golvyta jämfört med deras tidigare system (Fuel Cell Today: analyst view).

I ett kommande förnyelsebart elnät blir det viktigare att kunna stabilisera nätet. En stor potentiell marknad väntar för reservkraft för kritiska installationer t.ex. för mobilmaster och sjukhus. Andra nya potentiella marknader är (Jennifer Gangi, Fuel Cell 2000, presentation på Fuel Cell Seminar 2012):

- Mediebranschen, där sändning från otillgängliga plaster är viktigt.
- Hotell och andra fastigheter med småskalig kraftvärmegenerering (CHP).
- Hamnar och flygplaster med utsläpps- och bullerkrav.
- APUer (hotelldrift) för flygplan. Notera att både Boeing och Airbus har demonstrationsprogram.

2.2 Potentiella kunders motivation

Den Washington DC baserade organisationen Fuel Cell 2000 har undersökt motivationen och anledningen till att kunder köper bränslecellssystem. Årets samt tidigare års rapporter hittas på www.fuelcells.org. Installation av bränslecellssystem kan hjälpa företag att uppnå olika miljömässiga certifieringar, t.ex. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), som är en tredjepartscertifiering i USA. Tio större köpare av

bränslecellssystem är listade i Figur 4 (observera ej nödvändigtvis SOFC), var det också finns information om antal platser som respektive företag har installerat sina bränslecellssystem. Notera att det inte är de traditionella elbolagen som köpt och installerat bränslecellssystem, det är istället relativt stora elkunder och ofta också med behov av en miljömässig image. Återkommande kunder och kunder som installerar bränslecellssystem på många olika platser bedöms som viktiga för kommersialisering i en ökande storlek. Nedan ges ett antal exempel:

- Adobe uppger att kostnaden för elektricitet från deras bränsleceller är 8,5 (\$) cents/kWh (56 öre/kWh), vilken inkluderar underhåll, bränsle, avskrivning över en beräknad livslängd på 10 år, samt federala skatterabatter och stöd från kaliforniska delstatsinitiativ.
- Coca Cola installerar i bränslecellsbaserade kraftvärmesystem för att sänka sina energikostnader, bli oberoende av det externa elnätet, sänka sin vattenförbrukning (jämfört med central elproduktion), för att sänka sina utsläpp av växthusgaser samt för att förbättra sin miljömässiga image. Den kan nämnas att Coca Cola även köpt 96 bränslecellsdrivna truckar.
- Cox Enterprises arbetar med att sänka företagets kolavtryck (carbon footprint). Som en del i detta installeras bränslecellssystem, med biogas som bränsle, för elgenerering vid huvudkontoret och även vid andra enheter.
- Även Kaiser Permanente arbetar med att sänka sitt kolavtryck och utsläpp av andra luftföroreningar. Kaisers och Bloom Energy har ett "power purchase agreement" där Bloom Energy installerar äger, underhåller, och driver bränslecellssystemen, medan Kaiser endast köper den elektricitet som genereras.
- Baserat på framgångar med bränslecellsinstallationer från Bloom Energy under 2009 har Walmart fortsatt att installera bränslecellssystem och är vid dagens datum uppe i installationer vid 26 olika enheter. Den kan nämnas att Walmart även köpt över 500 bränslecellsdrivna truckar. Inköp av bränsleceller är en del i Walmarts långsiktiga strategi som går ut på att använda 100 % förnyelsebar energi.

Top Fuel Cell Power Customers		
1	 at&t	17.1 MW at 28 sites
2	 Walmart	10.4 MW at 26 sites
3	 ebay	6.5 MW at 2 sites
4	 Apple	5.3 MW at 2 sites
5	 KAISER PERMANENTE	5.0 MW at 7 sites
6	 Coca-Cola	3.1 MW at 4 sites
7	 COX	3.0 MW at 5 sites
8	 CBS	2.4 MW at 2 sites
9	 Sheraton HOTELS & RESORTS	2.3 MW at 5 sites
10	 Adobe	1.6 MW at 2 sites

Figur 4. Större bränslecellskunder listade av den amerikanska organisationen Fuel Cell 2000 i november 2012 (www.fuelcells.org). Observera att ingen skillnad görs i denna tabell på typ av bränslecellssystem.

2.3 Offentligt stöd och offentliga bränslecellsprogram

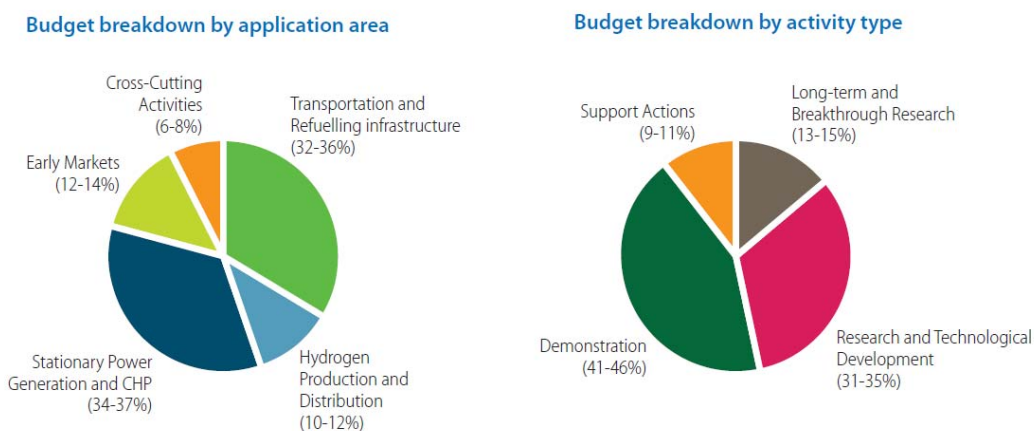
2.3.1 Europa

Europeiska kommissionen presenterade i december 2011 ett forsknings- och innovationspaket på 80 miljarder € (690 miljarder SEK) för perioden 2014-2020 som kommer att ersätta det sjunde forskningsprogrammet (2007-2013). Ett delprogram är "the Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU)", ett offentligt-privat samarbete som består av en forskningsgruppering (N.ERGHY) och en industrigruppering (NEW-IG) vars struktur visas översiktligt i Figur 5 nedan. Målet med finansieringen av vätgas och bränslecells forskning är att accelerera marknadsintroduktionen (kommersialiseringen). FCH-JU har finansierat ett brett spektrum av projekt som fokuserat på vätgas- produktion, lagring och tankning, bränsleceller för transport, stationära system, kraftvärme, den tidiga marknaden och övergripande frågor. Kostnadsfördelning i FCH-JU mellan olika applikationsområden samt aktivitetstyper visas i Figur 6. Under 2011 beviljades 109 miljoner € (936 miljoner SEK), jämfört med 89 miljoner € (765

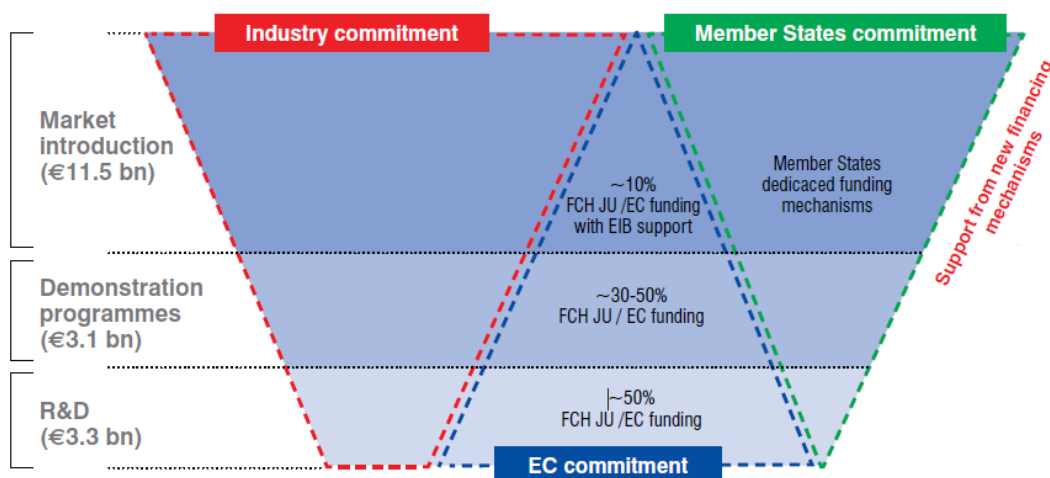
miljoner SEK) under 2010. FCH-JU öppnade sin 5:e ansökningsomgång i januari 2012 med en total budget på 77.5 miljoner € (666 miljoner SEK). Industrigrupperingen NEW-IG har önskemål om stöd från EU, stater och delstater enligt beskrivningen presenterad i Figur 7. Deras tanke är att den offentliga andelen av stödet successivt minskar när bränslecellssystem blir mer mogna och genomgår demonstrations- och marknadsintroduceringsfaser. (Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012 & www.new-ig.eu).



Figur 5. Organisation av EUs bränslecellsforskning



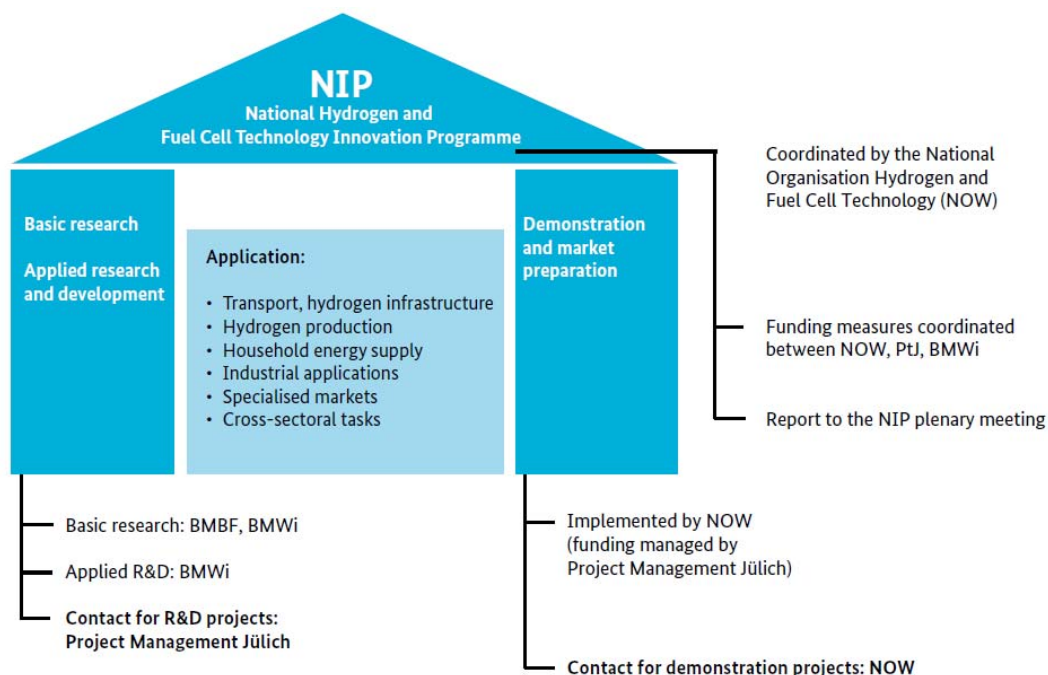
Figur 6. Kostnadsfördelning i FCH-JU (www.fch-ju.eu).



Figur 7. NEW-IGs önskemål på stöd till bränslecells forskning och stöd till demonstrationsprogram och marknadsintroduktionsprogram för 2014-2020 (www.new-ig.eu).

Tyskland

Tyskland har ett nationellt vätgas och bränslecellsprogram (2006-2016) som satsar 1.4 miljarder € (12 miljarder SEK) med riktade stöd i NIP-programmet (National Hydrogen and Fuel Cell Technology Innovation Programme), se Figur 8. Av NIP programmets 12 miljarder SEK satsas 54 % på transportapplikationer (främst PEM men SOFC som APU är inkluderad), 36 % på stationära applikationer (lämplig marknad för SOFC) och 10 % på till speciella applikationer så som IT, telekommunikation, logistik samt fritidsmarknaden. NIP utformades gemensamt av det federala ministeriet för transport, byggande och stadsplanering (BMVBS), ministeriet för ekonomi och teknik (BMWi), ministeriet för utbildning och forskning (BMBF) och ministeriet för miljö, naturskydd och kärnsäkerhet (BMU). NIP är indelat i följande områden: transport, inbegripet vätgasinfrastruktur (distribution, lagring och tankning), vätgasproduktion, hushållens energiförsörjning, industriella tillämpningar, nishade marknader för bränsleceller samt sektorsövergripande uppgifter. Förutom de ovan nämnda prioriteringarna, kan åtgärder för att visa upp vätgas och bränslecellsteknik också finansieras av BMVBS under tiden för NIP-programmet. Den nationella organisationen NOW (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) ansvarar för att välja ut och professionellt stödja demonstrationsprojekt. Både forskning, utveckling och demonstrationsprojekt är nära samordnade. Vid selektionen av forskningsprojekten läggs särskild vikt vid resultatet av demonstrationsprojekten. De tyska projekten är samordnade med EUs bränslecells forskningsprojekt (FCH-JU). När det kommer till SOFC-teknologi ingår bl.a. följande delar i NIP: utveckling av platt stackteknologi, uppskalning till enheter med en el-generering på flera kW med möjlighet att gruppera dem i större anläggningar samt hantering och kontroll av hela SOFC-system (www.bmw.de & Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012).



Figur 8. NIP-programmets struktur (www.bmw.de).

När bränslecells forskning och utveckling diskuteras i Tyskland är det viktigt att komma ihåg att det finns ett politiskt beslut att stänga ner all kärnkraft, vilket medför att många utmaningar väntar med elproduktion, eldistribution och energilagring. Det finns tankar och idéer om att lagra energi i form av vätgas i stor skala i saltgruvor. Vätgasen kan produceras antingen genom elektrolys eller genom elektrokemi i bränsleceller som körs baklänges. Vätgasen kan distribueras antingen i det befintliga naturgasnätet eller så kan man tänka sig storskaliga bränslecellssystem i anslutning till saltgruvorna. Vidare har den tyska regeringen tillsammans med ett antal industripartners kommit överens om att utöka antalet vätgastankstationer till 50 innan 2015 (www.gtai.com & Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012).

Finland

Finland har ett bränslecellsprogram under 2007-2013 som koordineras av Tekes. Programmet med kopplingar till FCH-JU har en total budget på 140 miljoner € (1,2 miljarder SEK), att jämföra med en statligt finansierad årlig energiforskning på 225 miljoner € (1,9 miljarder SEK) under år 2011. Programmet syftar till att koordinera utvecklandet av bränslecellsteknologi som är redo att kommersialiseras. Förutom framgångsrika demonstrationsprojekt behövs kompletta och robusta försörjningskedjor och skapandet av nischmarknader. Centrala forskningsområden är (www.tekes.fi & Fuel Cell Today: Fuel Cells and Hydrogen in Finland 2012):

- Stationär kraft, med SOFC- och PEMFC-teknologi för mindre kraftvärme, kundnära elproduktion, avbrottsfri elförsörjning, back-up el, off-grid el för t.ex. mobilnätet samt APUer för fartyg.

- Arbetsmaskiner: PEMFC att användas i skogsbruket, gruvindustrin, hamnarbete samt i militära applikationer.
- Portabla enheter med ett litet strömbehov betyder i detta projekt bränslecells-”power pack” samt tryckta bränsleceller för engångselektronik.

Det finska bränslecellsprogrammet kommer att kulminera med ett stort demonstrationsprojekt under 2013, bl.a. i Helsingfors hamn. Den finska industrigruppen för bränsleceller består av: Bigman, Cargotec, Gasum, Konecranes, MSC Electronics, Outotec, Patria Land & Armament, Prizztech, Sandvik Mining and Construction, Savox Communications, VTT Technical Research Center of Finland och Wärtsilä. Det bör nämnas att VTTs fokus på bränslecellsområdet är riktat mot SOFC.

Danmark

Dansk SOFC-forskning har en historia av mer än 20 år. I Danmark satsas det årligen, sedan 2007, något mer än 100 miljoner DKK (115 miljoner SEK) i offentligt stöd till bränslecells forskning. Det offentliga stödet går både till universitet (t.ex. DTU Risø) och till företag (t.ex. Topsoe Fuel Cell och Dantherm Power). Partnerskapet för Vätgas och bränsleceller i Danmark, där myndigheter, universitet och företag är medlemmar, har gemensamt författat en Nationell SOFC-strategi för 2010-2020. Det bör nämnas att det i Danmark även finns en nationell PEMFC strategi. Resurser till SOFC fokuseras på tre marknadssegment: mikrokraftvärme, hjälpkraft till mobila system (APUer) samt decentraliserad kraftvärme. Med mikrokraftvärme menas system för enskilda hushåll som producerar 1 kW el med gas från naturgasnätet. SOFC-hjälpkraftssystem på 3-20 kW med lokalt reformerad diesel som bränsle förväntas nå stora framgångar p.g.a. den höga verkningsgraden, särskilt i jämförelse med en dieselmotor på tomgång. Decentraliserad kraftvärme är anläggningar på upp till 250 kW som är intressanta p.g.a. den höga verkningsgraden samt den höga temperaturen hos (rest)värmen (National SOFC-strategi, 2010-2020 (www.hydrogennet.dk) & www.topsoefuelcell.com).

Risø DTU startar, i samarbete med DGC (Dansk Gasteknisk Center) och Aalborg universitet, upp ett testcenter för bränsleceller och vätgasteknologi för att stödja den globala bränslecellsindustrin med tester, certifieringar, konsultverksamhet och utbildning (www.risoe.dtu.dk).

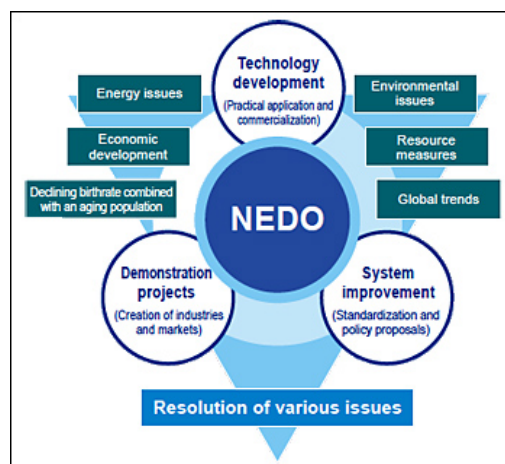
Norge

I Norge finns det en politisk vilja att vara en ledande nation i omställningen till en vätgasbaserad ekonomi. Det satsas resurser på att producera vätgas av elöverskott från vatten- och vindkraft. Vätgasproduktion väntas också bli en viktig beståndsdel i en utbyggd elnätsbalansering. ”Hydrogenrådet” bildades av olje- och energiministeriet samt transportministeriet under 2005 som ett rådgivande organ till regeringen inom vätgasrelaterade frågor. Hydrogenrådet menar att Norge har vätgasaktivitet på många områden med många mindre forskargrupper. Detta är en modell för Norge att hålla sig uppdaterad på många akademiska discipliner, men en sämre grund för skapandet av nya storföretag. Hydrogenrådet anser att för att säkerställa ett bättre resursutnyttjande bör forskningen fokuseras på större forskargrupper. Det

föreslås att laboratorier och försöksanläggningar inrättas som en del av en övergripande nationell vätgasstrategi. Det bör nämnas att norska- företag och forskningsgrupper deltar i flertalet FCH-JU-projekt. Hydrogenrådet rekommenderar den norska regeringen att satsa 1,6 miljarder NOK (1,8 miljarder SEK) under 2012-2015 som en nationell satsning på vätgas. Som jämförelse kan nämnas att 2007-2011 satsade den norska staten 63 % av Hydrogenrådets rekommendation (Hydrogenrådet Handlingsplan 2012-2015).

2.3.2 Japan

Den Japanska offentliga energiforskningen har efter 70-talets oljekriser samlats i NEDO, vars uppbyggnad visas i Figur 9. NEDO har en årlig budget på 151 miljarder ¥ (2011) vilket motsvarar 12,4 miljarder SEK (www.nedo.go.jp). Det japanska bränslecellsprogrammet satsar 19,3 miljarder ¥ (1,59 miljarder SEK) under 2012. Pengar från bränslecellsprogrammet går både till forskning, utveckling, demonstration samt till att stödja ENE-FARM projektets kommersialisering. Av dessa 19,3 miljarder ¥ går 0,62 miljarder ¥ (51 miljoner SEK) till SOFC-basforskning (med fokus på systemutveckling och grundläggande SOFC-teknologi), 0,9 miljarder ¥ (74 miljoner SEK) till industrinära SOFC-forskning (med fokus på storskaliga SOFC-system för kraftgenerering) samt 9 miljarder ¥ (740 miljoner SEK) till ENE-FARM projektet (att fördelas mellan PEMFC och SOFC). Mitsubishi delar, tillsammans med Toyota och Tokyo Gas i ett NEDO-projekt för att utveckla ett 250 kW-system med trycksatta rörformiga SOFCer. Fälttester av Mitsubishis system startar i november 2012, elverkningsgraden anges till över 55 % (LHV) och ytan är 14 m * 5 m. Det skall noteras att det nyligen statats upp ett NEDO-projekt för trippelkombinerad-kraftgenerering, d.v.s. SOFC + gasturbin + ångturbin för större stationära system. Målet för det trippelkombinerade systemet är en elektrisk kapacitet på 40-90 MW, en elverkningsgrad på 60 % (LHV) och en konstruktionskostnad på under 0,25 miljoner ¥/kW (21000 SEK/kW), där SOFC-systemet ger 10-20 MW med en livslängd över 90000 timmar och en produktionskostnad på under 0,30 miljoner ¥/kW (25000 SEK/kW). Tanken bakom stödet till ENE-FARM är att det statliga stödet är konstant över flera år, men då fler och fler enheter säljs minskar stödet per enhet. Vidare förväntas den japanska staten stödja 100 tankstationer med vätgas, för att underlätta kommersialisering av vätgasdrivna bilar. Namnet ENE-FARM syftar till att ge den ekologiska bilden av att skörda sin egen energi (Fuel Cells 2000 & Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012 & www.nedo.go.jp).



Figur 9. NEDO-organisationens struktur (www.nedo.go.jp).

2.3.3 Sydkorea

Sydkorea importerar 97% av sin primärenergi och att minska detta beroende anses vara av strategisk betydelse för landet. Den nuvarande politiska ledningen har som mål att tillväxten de kommande 60 åren skall vara "grön". Bränsleceller är identifierat som en utav tio lovande teknologier. Det satsas 80 miljoner \$ (530 miljoner SEK) offentliga medel på bränslecellsforskning och demonstrationsprojekt under 2008-2014 fördelat på PEMFC, SOFC, MCFC, DMFC och DCFC. Notera att endast en mindre del går till SOFC-forskning. Det bör nämnas att det i Sydkorea installeras ett flertal stationära bränslecellssystem i MW-skala, dock främst MCFC (Seong Ahn Hong, KIST, presentation på f-cell i Stuttgart, oktober 2012).

2.3.4 USA

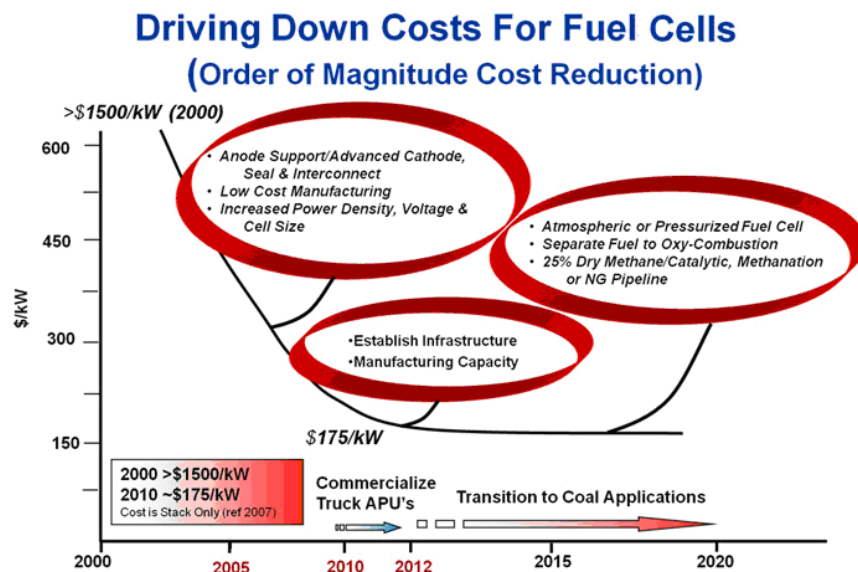
DOE administrerar ett vätgas och bränslecellsprogram (2009-2013), som en del i ett stimulanspaket för att få igång den amerikanska ekonomin, med målsättningen att accelerera kommersialiseringen, utveckla bränsleceller och bränslecellstillverkning, förbättra installation, underhåll och stödtjänster. Projektet har 41.6 miljoner \$ (273 miljoner SEK) statliga medel och ytterligare 54 miljoner \$ (355 miljoner SEK) från industripartners. Forskningsmedlen har fördelats på 12 projekt med fokus på bränsleceller för truckar, bärbara bränsleceller och stationära bränsleceller (för kraftvärmeproduktion, reservkraft eller hjälpkraftsaggregat). Detta projekt har bl.a. medfört en installation av 688 bränslecellssystem för reservkraft (ej SOFC) och en utplacering av 504 truckar (ej SOFC). De DOE sponsrade truckarna har medfört att deltagande industripartners har köpt ytterligare 3500 bränslecellsdrivna truckar. Även de DOE sponsrade reservkraftssystemen har stimulerat de medverkande industripartners att installera ytterligare 1300 system (Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012).

DOE annonserade den 27:e juli 2012 sju 2 respektive 3 års SOFC-projekt att stödja med 3,5 miljoner \$ (23 miljoner SEK). Med medfinansiering från

berörda universitet blir den totala projektsumman 4,4 miljoner \$ (29 miljoner SEK) (DOE Fossil Energy Techline – July 27, 2012):

- Stanforduniversitetet kommer att titta på tvåstrukturiga katoder som består av två konventionella elektrodmaterial, med målet att drastiskt öka reaktionsaktiviteten.
- Vid Bostons universitet fokuseras det på att höja energitätheten genom att använda nya katodmaterial och elektrokemiska katalysatormaterial.
- Perovskitbaserade SOFC-katoder, med en förstärkt syrereduktionsaktivitet, kommer att utvecklas vid Wisconsinuniversitetet.
- På West Virginiauniversitetet kommer det att utvecklas högaktiva och stabila katoder för drift i mellantemperatur.
- På Georgia Tech kommer det att fokuseras på en rationell design av nya material och elektrodstrukturer för att minska de stabilitetsproblem som orsakas av föroreningar.
- Nedbrytningsfenomen hos lanthanum-manganitbaserade katoder studeras vid Connecticut-universitetet.
- En sammanhållen och övergripande teori som förklarar nedbrytningsmekanismer relaterade till mikrostruktur och sammansättning hos katoden kommer att utvecklas vid Maryland-universitetet.

Solid State Energy Conversion Alliance (SECA), som grundades 1999, är ett samarbete mellan den federala regeringen, privata näringslivet, akademiska institutioner och nationella laboratorier. Målet med SECA-programmet (se Figur 10) är att sänka produktionskostnaden för SOFC till 140 \$ per kW (920 SEK/kW). SECA syftar till att möjliggöra generering av energimässigt effektiv och kostnadseffektiv el från inhemskt kol och naturgas, med nära nollutsläpp av CO₂ och luftföroreningar, d.v.s. koldioxidinfångning är inkluderad. Kostnaden för koldioxidinfångning förväntas sjunka kraftigt med tiden. Vidare kan möjligheten att lagra koldioxid öka mängden olja som är möjlig att utvinna, vilken är en fördel för USA då det finns gott om inhemskt kol. Den federala budgeten för 2013 är på ca 420 miljoner \$ (2,8 miljarder SEK) till fossil energiforskning, varav 25 miljoner \$ (160 miljoner SEK) riktas till SOFC-forskning. I SECA-programmet deltar från industrin LG, Fuel Cell Energy (30 kW stack), Versa Power Systems (30 kW stack), United Technology (3 kW APU) och Delphi (3 kW APU). Fuel Cell Energy och Versa Power har lyckats minska celldegraderingen till 0,3% per 1000 timmar. UTC och Delphi har skalat upp den elektrokemiska aktiva ytan med en faktor 4 (mellan generation 3 och 4). LG har designat ett MW-system för distribuerad kraftgenerering med naturgas som bränsle. Den intresserade kan hitta mer information på: www.netl.doe.gov och www.fe.doe.gov (Briggs White, DOE, presentation på Fuel Cell Seminar 2012).



Figur 10. Kostnadsmål kopplat till DOEs SECA-program.

I USA sker mycket av lagstiftningen på delstatsnivå, vilket betyder att stöd till bränsleceller och annan förnyelsebar energi varierar mellan olika delstater. Ett program med feed-in-tariffer har lanserats i Rhode Island. Kalifornien har haft ett program (California Self-Generation Incentive Program, SGIP) för att stödja egenproducerad el sedan 2001. 2011 förlängdes det till och med 2015. Connecticut har lanserat en vätgas och bränslecellstrategi för 2011-2050. Delstaten New York har ett stödprogram, på totalt 21,6 miljoner \$ (142 miljoner SEK) t.o.m. 2015, som för större system (>25 kW) ger ett stöd på 1000 \$/kW (6600 SEK/kW), upp till 200000 \$ (1,3 miljoner SEK) per projekt. Offentlig verksamhet i New York har möjlighet att få ytterligare stöd. (Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012 & DOE 2011 Fuel Cell Technologies market report July 2012).

2.3.5 Kanada

I Kanada samarbetar universitet, industri och myndigheter i paraplyorganisationen "SOFC Canada". Kopplat till "SOFC Canada" finns det ett forskningsnätverk med stöd från NSERC (Kanadensiska naturvetenskapliga och tekniska forskningsrådet). I nätverket ingår 21 forskargrupper från 7 universitet (Alberta, Calgary, McMaster, Queen's, Toronto, Sherbrooke och Waterloo), det nationella forskningsrådet samt delstatens Albertas forskningsråd. Den privata sektorn är inkluderad genom: Acumentrics, ATCO Gas, Enerken, Global Thermoelectric, Northwest Mettech, NOVA Chemicals, PC Automax, Polycontrols Technologies, Shell Canada Energy, Vale Inco och Xebec. Det offentliga stödet från den kanadensiska regeringen (www.nserc-crsng.gc.ca) till "NSERC Solid Oxide Fuel Cells Network" är ungefär 5 miljoner CAD (33 miljoner SEK) under en 5-års period med start 2009. De tekniska målen med det kanadensiska SOFC-nätverket är att använda kanadensiska bränslen, att förbättra bränslecellens livslängd, prestanda, tillverkningsprocesser och bränsleflexibilitet. Inkluderat är en cell med hög tillförlitlighet, låg arbetstemperatur och en platt metallbaserad design.

Forskningsverksamheten i SOFC-nätverket organiseras tematiskt, enligt följande (www.nsercpartnerships.ca):

1 – Bränslereformering: Aktuell SOFC-teknik är begränsad till att använda sig av starkt reformerad naturgas (svavelfri). Användning av diesel kräver effektiva och billiga reformatorer som integreras i bränslecellssystemet. Ny bränslereformerings- och mikrokanals-reaktorteknik kommer att utvecklas för att optimera bränslereformeringseffektiviteten och minimera den långsiktiga degraderingen.

2 – Svavel och koks-toleranta anoder: Extern reformering och svaveltvättning eskalerar kostnader samt leder till en lägre effektivitet, på grund av deras ytterligare energibehov. Forskning kommer att fokusera på katalysatorer som fungerar effektivt i närvaro av höga halter av svavel. Modellering kommer att användas för att avgöra mekanismen för svavel- och koks-förgiftning, vilket underlättar den experimentella optimeringen av anodkatalysatorns mikrostrukturer och material.

3 – Cellproduktion: Forskare utvecklar kostnadseffektiva tillverkningstekniker som uppfyller bränslekraven i punkt 1, anodmaterialen i punkt 2 och stackkraven i punkt 4. Utveckling av nya platta metallbaserade celler med ny bearbetningsteknik, kommer att sänka systemkostnaderna och förbättra livslängden.

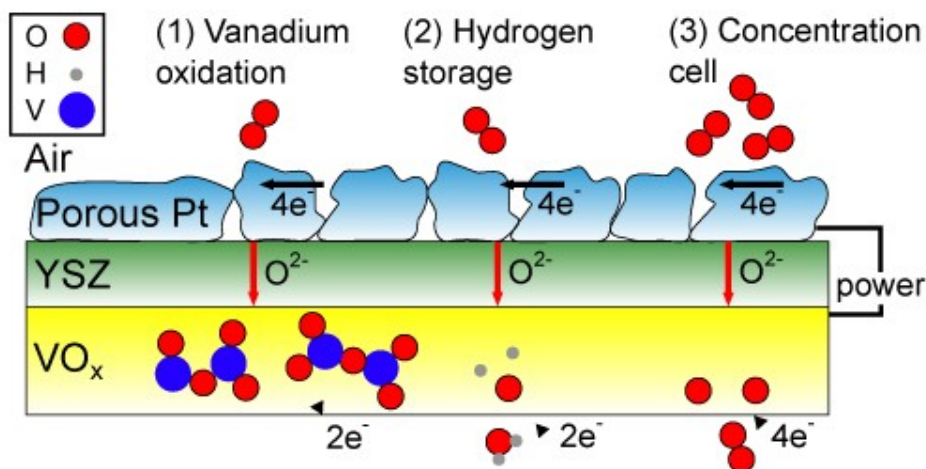
4 – Stack och systemintegration: Innovativ teknik kommer utvecklas för att förbättra effektiviteten, den långsiktiga stabiliteten och optimera SOFC-systemets funktionalitet.

2.4 Vetenskapliga framsteg

Nedan ges ett urval av de mest uppmärksammade vetenskapliga nyheterna inom SOFC-forskningen som publicerats under 2012. Det skall noteras att det kommer ta många år innan dessa nya rön utvecklas till kommersiella produkter.

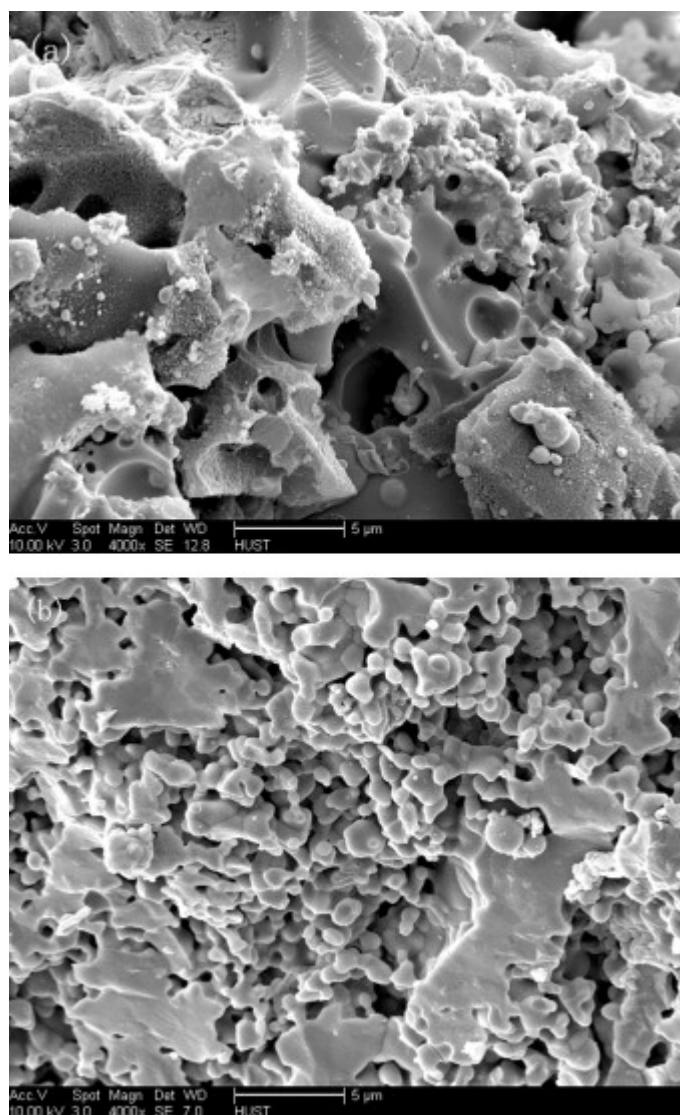
2.4.1 Anod

Shriram Ramanathans forskargrupp vid Harvard har påvisat att en SOFC kan lagra en viss mängd elektrokemisk energi, d.v.s. fortsätta att producera en viss effekt även efter det att vätgasen tagit slut. Vanadinoxid (VOX) vid anoden (se Figur 11 nedan) beter sig som ett multifunktionellt material, vilket gör att bränslecellen både genererar och lagrar energi. Forskningsfyndet är viktigt för småskaliga bärbara applikationer, där en kompakt strömförsörjning är nödvändig och vidare kan bränsletillförseln avbrytas plötsligt. Under normal drift, är den effekt som produceras med hjälp av den nya designen jämförbar med den som produceras av en traditionell SOFC. Samtidigt möjliggör det särskilda nanostrukturerade VOX-lagret olika kemiska reaktioner som fortsätter även efter att vätgasen tagit slut (Q. van Overmeere et al., Nano Letters 12 (2012) 3756–3760 & Harvard pressmeddelande 29:e juni 2012).



Figur 11. Det finns tre reaktioner som troligtvis sker i cellen på grund av vanadinoxidanoden. Den första är oxidationen av vanadinjoner, som har verifierats genom XPS (fotoelektron-spektroskopi). Den andra är att lagring av väte i VOX kristallgitter, som successivt frigörs och oxideras vid anoden. Och det tredje fenomenet är oxidering av syreanjoner, vilket påvisats genom att koncentrationen av syre joner skiljer sig från anoden till katoden. © Quentin Van Overmeere, Harvard.

En forskargrupp vid Huazhonguniversitetet, i Kina, har vidareutvecklat produktionsmetoden med plasmasprutning. I deras forskning tillverkas den fullständiga cellen, med kisel som substrat, genom plasmasprutning. För att övervinna begränsningarna med en olikformig fördelning av porer och partiklar med traditionell plasmasprutning, provas en ny metod med flerfasig sprutning. Anodskiktet tillverkas genom sprutning på substratet med N₂ som bärare, för att mata mikrometerstora NiO-partiklar och med en flytande bärare för att mata YSZ pulver med en storlek i submikrometerskalan (D. Rui et al. J. Material Processing Technology 212 (2012) 2193-2199).

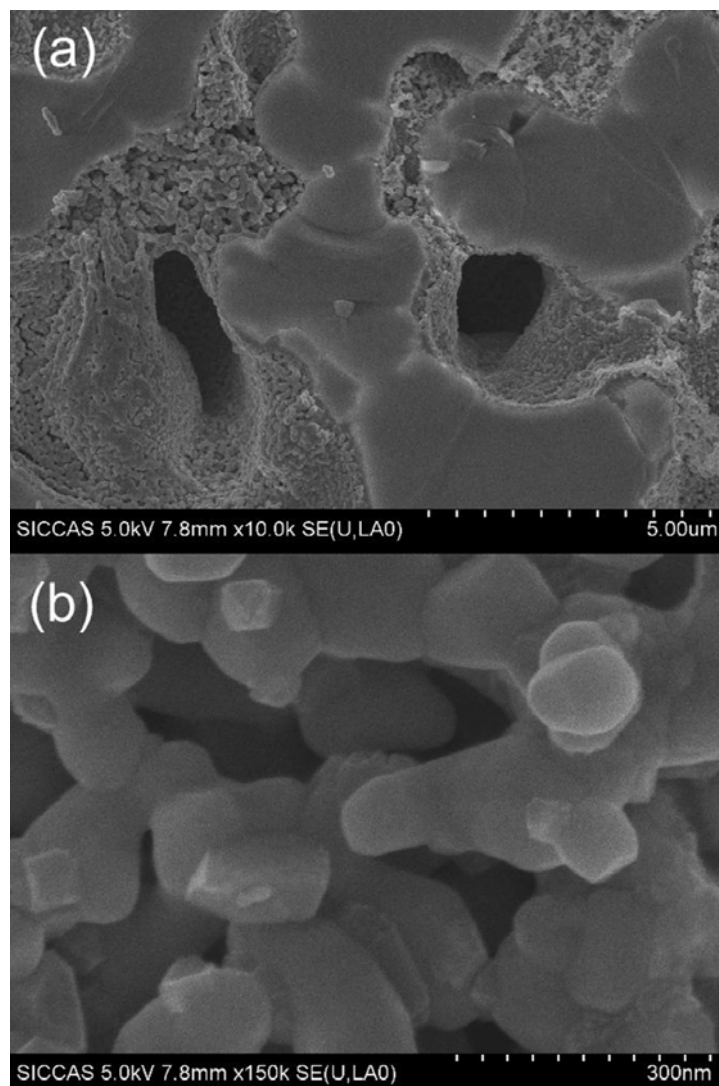


Figur 12. En mikrograf där den översta bilden visar anoden efter traditionell (enfasig) sprutning och den nedre bilden visar anoden efter flerfasig sprutning, © Elsevier.

Vidareutveckling av anodmaterial arbetas det även med hos en forskargrupp i Sydkorea, där standard Ni/YSZ ersätts med AMoO_3 ($\text{A}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$). AMoO_3 perovskiterna innehåller Mo^{4+} -katjoner, som har en tillräcklig elektronöverföringsenergi till att screena och avbryta den elektrostatiska energin som åtföljs med elektronöverföring. Bland dessa tre perovskitföreningar har CaMoO_3 den högsta ledningsförmågan vid rumstemperatur ($\sim 10^4 \text{ S cm}^{-1}$) och dess värmeutvidgningskoefficient är mycket nära den för YSZ, som ofta används för SOFC-elektrolyter (Im et al., *Ceramics International* 38 (2012) 153-158).

2.4.2 Katod

I Nature Scientific Reports (D. Han, Sci.Rep. 2 (2012) 462) har det rapporterats att en oxidhybrid, med en nanoporös $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ (SSC) katalysatorbeläggning bunden på den interna ytan av ett högporöst $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (LSGM) substrat, uppvisar en överlägsen katalytisk aktivitet för syrereduceringsreaktioner. Det ger lågt motstånd med luft, t.ex. $0,021 \, \Omega \, \text{cm}^2$ vid $650 \, ^\circ \text{C}$ och $0,043 \, \Omega \, \text{cm}^2$ vid $600 \, ^\circ \text{C}$. Det visades vidare att när en sådan mikro-nano porös hybrid, används som katod i en tunn LSGM bränslecell, produceras en imponerande effekttäthet av $2,02 \, \text{W} \, \text{cm}^{-2}$ vid $650 \, ^\circ \text{C}$ och $1,46 \, \text{W} \, \text{cm}^{-2}$ vid $600 \, ^\circ \text{C}$ vid en drift med fuktad vätgas som bränsle och luft som oxidationsmedel. Det nya materialet som presenteras av Han et al. kan jämföras med standard SOFC-katodmaterial som är en blandning av Sr-dopad LaMnO_3 (LSM) och yttriumoxidstabiliserad zirkoniumoxid (YSZ).



Figur 13. Tvärsektionsvyer av SEM-mikrofotografier visar strukturen för den nytvecklade mikro-nano porösa SSC/LSGM-hybriden, Creative Commons by Nature Publishing Group.

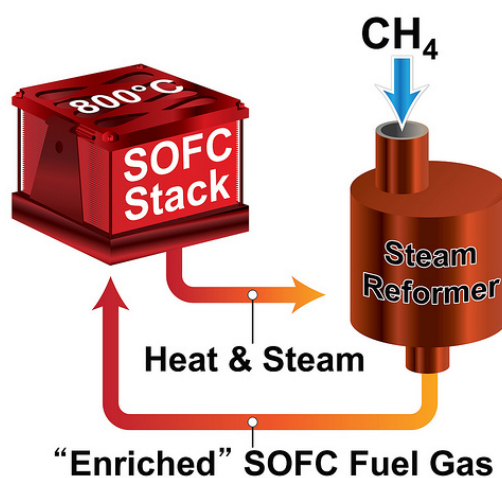
2.4.3 Fogmaterial (Interconnect)

En av utmaningarna för bränslecellernas kommersialisering är utvecklandet av passande fogmaterial. Mycket resurser har spenderats på LaCrO_3 .

En forskargrupp kopplad till CAS (Chinese Academy of Sciences) har undersökt $(\text{Ti}_{0.98}\text{Nb}_{0.02})_3(\text{Si}_{0.95}\text{Al}_{0.05})\text{C}_2$ som ett nytt material för fogarna i mediumtemperatur-SOFCer. Resultaten visar att det nya materialet har låg densitet ($4,50 \text{ g/cm}^3$), en värmeutvidgningskoefficient som ligger nära dito för Y_2O_3 stabiliserad ZrO_2 ($9,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), den elektriska resistiviteten vid rumstemperatur är låg ($24 \mu\Omega \text{ cm}$) samt att de mekaniska egenskaperna är gynnsamma. Vidare är $(\text{Ti}_{0.98}\text{Nb}_{0.02})_3(\text{Si}_{0.95}\text{Al}_{0.05})\text{C}_2$ mycket stabil i en oxiderande miljö (L.L. Zheng et al., Int. J. Hydrogen Energy, 37 (2012) 1084-1088).

2.4.4 System

Forskare vid PNNL (Pacific Northwest National Laboratory) har utvecklat ett småskaligt SOFC-system, vilket uppnår en systemverkningsgrad på 57 % med en egenutvecklad värmeväxlare med mikrokanalsteknologi. Systemet har designats för att använda naturgas som bränsle, dock med extern reformering och cirkulation (recycling) av bränslet. Testsystemet är designat för att producera 2 kW el, med uppskalningsmöjligheter mot 250 kW (M. Powell et al., J. Power Sources 205 (2012) 377-384 & PNNL pressmeddelande 31:a maj 2012).



Figur 14. PNNLs högeffektiva småskaliga SOFC-system med förreforming och bränslecirkulation, PNNL.

2.5 Kommersiella framsteg och demonstrationsprojekt

Under 2012 beräknas globalt nästan 80 000 bränslecellssystem levereras till kund, att jämföra med 25 000 under 2011. Dessa 80 000 system motsvarar 174 MW, jämfört med 110 MW under 2011. Således minskar den genomsnittliga systemstorleken. Den absolut största ökningen innefattar portabla system, där tre företag har produkter till försäljning (observera ej

SOFC): Horizon Fuel Cell Technologies med sin "MiniPak", svenska myFC med sin "Power Trekk" och Aquafairy med sin "AF-M3000". Inte att förglömma är truckmarknaden i USA som börjar bli signifikant. Ökningen i levererade MW under 2012 kan förklaras med storskalig kraftgenerering i USA och i Sydkorea (nästan 80 % av leveranserna går till Nordamerika och Asien). I Sydkorea förväntas en installation av 50 MW under 2012, 60 MW 2013 och 230 MW 2014 (Dan Carter, Fuel Cell Today, Fuel Cell Seminar 2012 & Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012).

Till kunder i Europa säljs nästan 20 MW, 65 MW till Nordamerika, 90 MW till Asien och några få MW till övriga världen. PEMFC och MCFC står för den största delen av leveranserna under 2012, 75 MW för PEMFC och 70 MW för MCFC, att jämföra med 20 MW för SOFC och 10 MW för PAFC. När mängden system som levereras jämförs står PEMFC för 90 %, d.v.s. ett SOFC-system är generellt av en större storlek. En förväntad leverans av 20 MW SOFC under 2012 kan jämföras med 1.3 MW under 2008 (Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012).

Antalet levererade system förväntas fortsätta att öka kraftigt de kommande åren p.g.a. (Dan Carter, Fuel Cell Today, Fuel Cell Seminar 2012):

- Marknadspenetration av bärbara laddare
- Extra krafterheter (APUer)
- Småskalig värmekraftgenerering (billig naturgas och feed-in-tariffer)
- Telekommunikation
- Truckar och Skotrar

SOFC-system förväntas få en signifikant del av marknaden för APUer och småskalig värmekraftgenerering.

Antalet levererade MW växer de kommande åren p.g.a. (Dan Carter, Fuel Cell Today, Fuel Cell Seminar 2012):

- En ökad produktionskapacitet
- Ett ökat fokus på energisäkerhet (d.v.s. minskat beroende av oljestater i Mellanöstern)
- Expansion till nya marknader, Sydostasien och Sydamerika
- Marknadspenetration av reservkraft
- Betydande tillväxt för bussar och fordon fr.o.m. 2014

2.5.1 Japan

ENE-FARM, ett projekt för att utrusta japanska hem med statsgasdrivna bränslecellssystem, där både elektriciteten och värmen tillvaratas, började redan på 90-talet. Den inledande demonstrationsfasen varade mellan 2003 och 2005 med mindre än 50 system installerade. Ett större demonstrationsprojekt initierades 2005 med en installation av över 3000 system fram till 2009. Utvecklingen av SOFC-baserade system har varit några år efter utvecklingen av de PEM-baserade systemen och SOFC-systemen i ENE-FARM projektet nådde fram till demonstrationsfasen 2007.

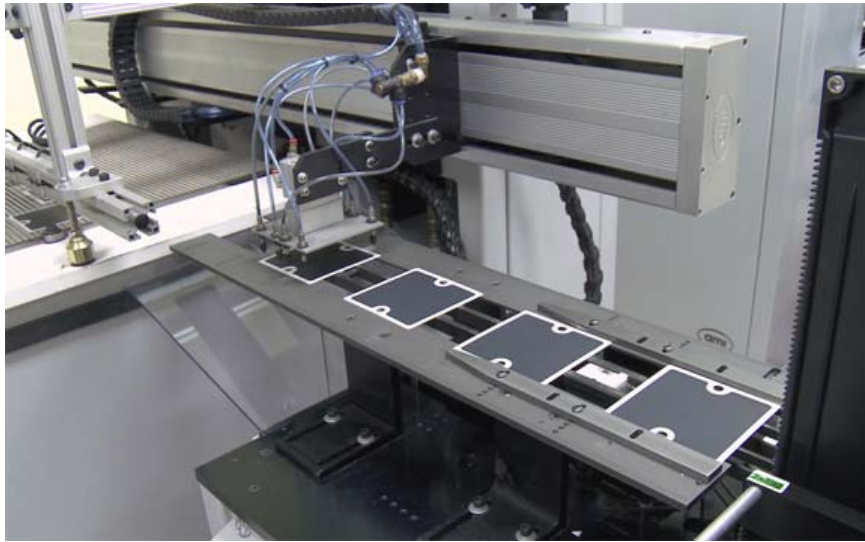
Kommersialiseringsfasen inleddes för PEMFC år 2009 och för SOFC år 2011. Över 40000 (varav 5-10 % SOFC) system har sålts med hjälp av bidrag från den japanska regeringen för delar av kapitalkostnaden. Det pågår kontinuerligt en kostnadssänkning för systemen, dock kommer statliga (och i vissa fall även kommunala) bidrag att ha betydelse fram till 2015, då både SOFC och PEMFC anses klara sig utan offentliga medel. Målet för ENE-FARM-projektet är att årligen sälja minst 50000 system 2015 (varav uppskattningsvis 25 % SOFC), att jämföra med prognoser på 20000 system under 2012 (varav ca 10 % SOFC). NEDO-projektet syftar till att sänka systemkostnaden till 0,7-0,8 miljoner ¥ (58000-66000 SEK) under 2015 och vidare till 0,5-0,6 miljoner ¥ (41000-49000 SEK) i perioden 2020-2030. Det bör noteras att bränslecellssystem anses klara sig utan offentliga subventioner när systemkostnaden understiger 1 miljon ¥ (82000 SEK) (Fuel Cells Bulletin April 2012 & Fuel Cell Today: analyst view & Kenji Horiuchi, NEDO, presentation på IEA AFCUA Annex 25&23, Oktober 2012).

ENE-FARM använde initialt PEMFC, p.g.a. dess möjlighet till relativt snabba start och stopp. SOFC-systemen planeras de för en mer kontinuerlig drift. Ett exempel på ett SOFC-system är Osaka Gas 700W system "typ S" med en elverkningsgrad om 46.5 % (LHV) och en totalverkningsgrad på över 90 % när den tillvaratagna värmen inkluderas. Priset på detta system är 2.75 miljoner ¥ (226000 SEK), inklusive skatter men exklusive installationskostnader. JX Nippon Oil & Energy Corporation säljer sitt SOFC baserade ENE-FARM-system "typ S" sedan oktober 2011 och nuvarande (oktober 2012) produktionskapacitet är 400 system per månad. Priset för 700 W-systemet från JX är 2.70 miljoner ¥ (222000 SEK) och elverkningsgraden uppgår till 45 % (LHV). AISIN SEIKI deltar i NEDO-projektet och utvecklar SOFC-system för småskalig kraftgenerering, där stackarna produceras av Kyocera. Under april 2012 lanserades AISINs "typ S" system, vilket uppvisar en elverkningsgrad på 46,5% (LHV) och en totalverkningsgrad på 90 % (LHV) när statsgas används som bränsle. Även Honda arbetar med utveckling av SOFC-system att användas av enskilda hushåll (Fuel Cells Bulletin April 2012 & Fuel Cell Today: analyst view & Honda: Summary of CEO Speech on September 21, 2012 & Kenji Horiuchi, NEDO, presentation på IEA AFCUA Annex 25&23, Oktober 2012 & AISIN SEIKI presentation oktober 2012).

2.5.2 USA

Bloom Energy, baserat i Kalifornien har seglat upp som en storsäljare av bränslecellssystem till datacenter med kunder som Apple, eBay, AT&T och NTT America. Bloom Energy har också sålt bränslecellssystem till kunder så som Adobe, Bank of America, Caltech, Coca-Cola, Cox Enterprises, FedEx, Google, JMB Realty, Kaiser Permanente, Staples och Walmart. NTT America installerade 5 stycken 100 kW system under 2011 för sitt amerikanska datacenter i Kalifornien. AT&T har installerat totalt 7.5 MW bränslecellssystem utspritt på 11 olika platser i Kalifornien. Apple har under 2012 installerat 4.8 MW bränsleceller för sitt datacenter i Maiden, North Carolina. eBay har beställt 30 stycken 200 kW system, till sitt datacenter i South Jordan, Utah, att installeras under andra kvartalet 2013. eBays och Apples system kommer att drivas med biogas. Priset för ett 100 kW system uppgavs 2010 enligt CBS news till 7-800000 \$ (4,5-5,2 miljoner SEK). Det kan vara värt att nämna att datacenter står för ca 2 % av USA energikonsumtion, och vidare beräknas

denna andel att växa med den exponentiella ökningen av internetanslutna enheter. Datacenter har generellt stora kylbehov och överskottsvärmen från ett SOFC-system kan driva absorption/adsorptionskylsystem och värmepumpar (Fuel Cell Today: The Fuel Cell Industry Review 2012 & www.bloomenergy.com & www.cbsnews.com).



Figur 15. Produktion av celler i Bloom Energys fabrik, © Bloom Energy.



Figur 16. Bloom Energy-stackar installerade hos eBay, © Bloom Energy.

Delphi har utvecklat, med stöd av bl.a. DOE, en SOFC-baserad APU för montering på lastbilar, för så kallad hotelldrift. Elverkningsgraden uppges till mellan 40 och 50 % och bullernivåerna till mindre än 60 dBa på 3 meters avstånd. Vidare anges utsläppen av CO och NO_x vara låga. Bränslebesparingen jämfört med en standard dieselmotor på tomgång uppges till 85 %. I maj 2012 uppgavs att leveranser till ett demonstrationsprojekt var planerat till maj 2012, att jämföra med ursprungliga planer i januari 2011. Anledningen till förseningen uppges vara problem med avsvavlingen av dieselbränslet. Marknadsförväntningarna är stora då det årligen säljs ungefär 135000 lastbilar av den klass där chauffören sover i bilen på den amerikanska marknaden. En kommersialisering av Delphis SOFC-system väntas efter framgångsrika demonstrationsprojekt och när produktionen skalats upp. (www.doe.gov & www.delphi.com)

2.5.3 Storbritannien

Ceres Power har utvecklat en SOFC som arbetar vid 500-600°C, genom att ersätta YSZ mot CGO (ceriumgadolinumoxid). Den lägre temperaturen möjliggör användandet av rostfritt stål som bärande material i cellen. Vidare kan de elektrokemiska lagren göras extremt tunna, d.v.s. strömstyrkan per volym blir hög. Materialkostnaderna minskar och genom att använda metall som stödmaterial ökar den mekaniska hållfastigheten. Nyligen publicerade data visar en degradation på mindre än 0,5 % per 1000 timmar samt en bra motståndskraft mot många starter/stopp. Ceres Powers bränslecellskraftvärmesystem använder naturgas som bränsle och producerar all värme och majoriteten av den el som ett tyskt hushåll behöver. Den väggmonterade enheten är designad för att ersätta en traditionell centralvärmepanna, med samma naturgas-, vatten- och elanslutningar. Ceres Power har ett kommersialiseringsprogram för sitt SOFC-mikrokraftvärmesystem med fältförsök under 2014 och en produktlantering under 2016. Avtal har skrivits med British Gas och Itho-Daalderop för fältförsök med 174 enheter i Storbritannien och Nederländerna. Dessa fältförsök stöds med 2.4 miljoner € (21 miljoner SEK) av Europeiska kommissionens 7:e ramprogram. En oberoende undersökning av Booz & Company uppskattar produktionskostnaderna för ett 1 kW system till 2500 £ (26400 SEK) vid en årlig produktion av 20000 enheter och till 1750 £ (18500 SEK) vid en årlig produktion av 100000 enheter. Av dessa priser är 380 £ respektive £ 250 kostnad för stacken. Den brittiska regeringen har annonserat planer på en "feed-in-tariff" för mindre kraftvärmesystem vilken motsvarar 436 £ (4600 SEK) i årligt stöd för ett 1kW Ceres SOFC-system installerat hos ett brittiskt hushåll. På längre sikt hoppas Ceres Power också kunna slå sig in på marknaden för industriell kraftproduktion samt för APUer i transportsektorn (Ceres Power: Pressmeddelande 18:e September 2012 och 26:e Juli 2012).

2.5.4 Schweiz

Hexis har utvecklat bränslecellssystemet "Galileo" som ersätter en värmepanna och även levererar el. Då Galileo ersätter en (befintlig) panna har den även en brännare på 20 kW, då 2 kW värme från bränslecellen ej är tillräckligt för deras (förväntade) kunder. Totalverkningsgraden på "Galileo

1000 N" (1 kW el) är hela 95 %, varav 35 % el och 60 % värme. Galileo är utvecklad för att anslutas till ett naturgasnät. Hexis producerar sina bränslecellssystem i Winterthur (Schweiz) och i Konstanz (Tyskland). Galileosystemet deltog i BMVBSs "Callux" projekt för mikrokraftvärmesystem i enskilda hushåll som pågick 2008-2012, med 150 bränslecellssystem. Hexis uppger att tillgängligheten var 99 % för deras system i Calluxprojektet. En marknadsintroduktion planeras för hösten 2013 (www.hexis.com & Hexis pressmeddelande 2:a oktober 2012).



Figur 17. Ett Galileo SOFC-system för kraftvärme, © Hexis.

2.5.5 Tyskland

Vaillant har utvecklat ett vägghängt SOFC-kraftvärmesystem, som ger 1 kWh el och 2 kWh värme, att anslutas till naturgasnätet. Den elektriska verkningsgraden uppges till 30-34 % och totalverkningsgraden till 80-85 %. Vaillant uppger att det tar 2-3 timmar att göra en kallstart. Vaillants SOFC-system provas ut i Calluxprojektet fr.o.m. hösten 2011, d.v.s. det tar några år till innan en kommersiell produkt är färdigutvecklad. Notera att Vaillant-gruppen är ett internationellt företag, med fokus på värmeteknik och 12000 anställda i över 20 länder (www.vaillant.de).



Figur 18. Vaillants vägghängda SOFC-kraftvärmesystem, © Vaillant.

2.5.6 Australien

Ceramic Fuel Cells Limited (CFCL), grundat 1992, baserat i Melbourne, Australien med forskning och utveckling, och med produktion i Tyskland (Heinsberg) har lanserat två SOFC-produkter på marknaden: "BlueGen" och "Gennex". BlueGen producerar 0,5-1,5 MW elektricitet med en elverkningsgrad på 60 % vid 1,5 MW. Vidare tas även ca 25 % av energin i bränslet tillvara i form av värme. Gennex är utvecklad för att integreras i externa tillverkares produkter och ger 0,5-2 MW el med en optimal elverkningsgrad på 60 % vid 1,5 MW. Både BlueGen och Gennex använder naturgas som bränsle. Produktionskapaciteten vid anläggningen i Tyskland är 1500 stackar per år (efter förbättringar som utförs hösten 2012) och det finns potential att öka produktionstakten till 3000-3500 med i sammanhanget små investeringar (Ceramic Fuel Cells Annual Report 2011/2012 & www.bluegen.info & www.cfcl.com.au).

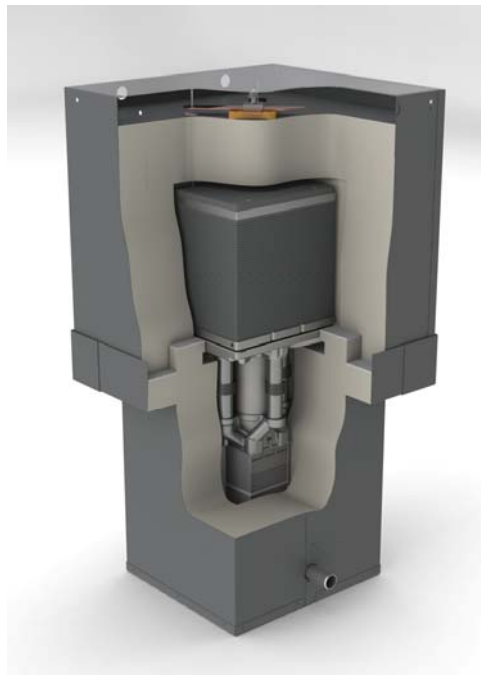
CFCL bedömer att Tyskland, Storbritannien, och Nederländerna är deras stora inledande marknader. Anledningen till att många bränsleceller säljs i Tyskland och Storbritannien är att det finns statliga stödsystem, bl.a. feed-in-tariffer på 11,5 € cent/kWh (0,99 SEK/kWh) respektive 17 pence/kWh (1,79 SEK/kWh).

Feed-in-tariffen på 17 pence/kWh består av två delar: 12,5 pence/kWh för all el som genereras i systemet plus 4,5 pence/kWh ytterligare för den el som exporteras till det externa elnätet. I Tyskland har flera delstater även marknadsintroduktionsprogram, som passar bra för BlueGen och Gennex och inte att förglömma är den federala regeringens stöd för inköp, uppgående till 1650 € per enhet. I Storbritannien får kunder en reducerad moms vid installation av t.ex. bränslecellssystem (5 % mot normala 20 %). CFCL hävdar att BlueGen är den enda bränslecellen som hitintills kvalificerar för de tyska och brittiska stödsystemen. Dock förväntas Ceres Power (se ovan) m.fl. att kommersialisera sina kraftvärmesystem inom några år. Försäljningen av BlueGen i Australien förväntas öka då den Viktorianska delstatsregeringen har annonserat att de utökar ett "feed-in-tariff" program (8 AUD cent/kWh (0,54 SEK/kWh)) till att även omfatta miljövänlig småskalig elproduktion, t.ex. bränsleceller. CFCL arbetar även med nödvändiga produktgodkännanden och certifieringar för den nordamerikanska marknaden. Delstater som Kalifornien med väldigt höga elpriser bör vara intressanta. (Ceramic Fuel Cells Annual Report 2011/2012 & Ceramic Fuel Cells Pressmeddelande 3:e September 2012).

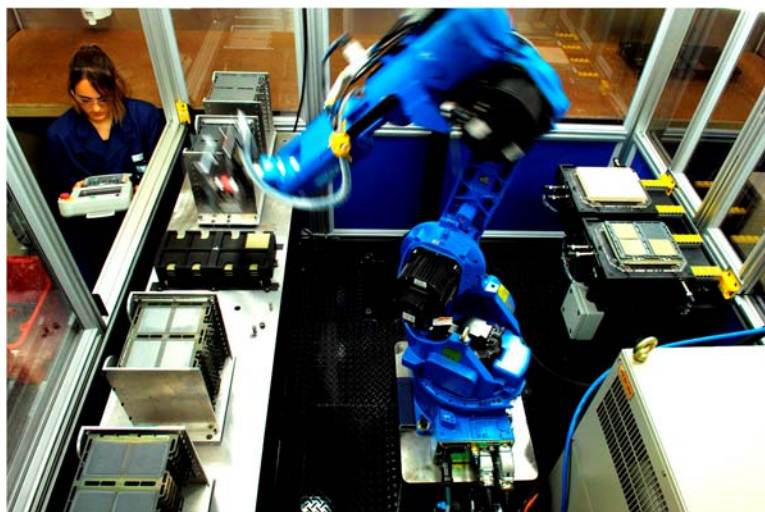
Från den senaste årsredovisningen kan utläsas att omsättningen har ökat med 82 % till 6,7 miljoner AUD (45 miljoner SEK) (på ett år), antalet sålda enheter har ökat 177 % till 169 enheter. Vidare har CFCL lyckats att sänka komponentkostnaderna i deras produkter med 25 % jämfört med 2011. CFCL arbetar med en "outsourcad" produktion av vissa komponenter för att ytterligare sänka produktionskostnaderna. Vid slutet av verksamhetsåret 2011/2012 rapporteras en ackumulerad orderstock på 639 enheter. Antalet anställda i Australien och Europa var 150 vid halvårsskiftet 2012. BlueGen får marknadsföringhjälp då det är en del i TV-programmet framtidens hem "Home of the future" på "Channel 4" i Storbritannien. BlueGen-system används även i projekt för virtuella kraftverk i Nederländerna, Tyskland och Australien (Ceramic Fuel Cells Annual Report 2011/2012 & Dr Karl Föger CFCL presentation på f-cell i Stuttgart, oktober 2012).



Figur 19. Ceramic Fuel Cells BlueGen system, © Ceramic Fuel Cells Limited



Figur 20. Ceramic Fuel Cells Gennex system, © Ceramic Fuel Cells Limited



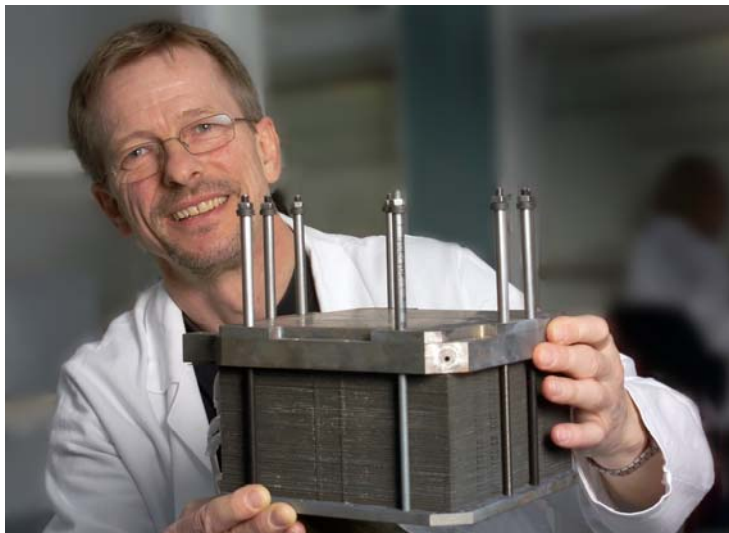
Figur 21. Ceramic Fuel Cells automatiserad stack-produktion, © Ceramic Fuel Cells Limited

2.5.7 Danmark

SOFC-utvecklingen i Danmark har nått demonstrationsfasen, och en kommersialisering kan väntas relativt snart. Dantherm Power och Topose Fuel Cell har etablerat ett nära samarbete i projektet Dansk mikrokraftvärme, där det satsas på att introducera SOFC-baserad mikrokraftvärme i Danmark, som en förberedelse för en expansion till den europeiska marknaden (National SOFC-strategi, 2010-2020 (www.hydrogennet.dk)).

Topsoe Fuel Cell, med över 100 anställda, fokuserar på utveckling, tillverkning och marknadsföring av SOFCer. Företaget är ett dotterbolag till Haldor Topsøe A/S, som varit engagerad i forskning och utveckling av SOFCer sedan slutet av 1980-talet. En produktionslinje i Lyngby, Danmark invigdes 2008 och den är förberedd för en uppskalning av produktionsvolymen på 20-50 gånger allt eftersom efterfrågan växer. Topsoe Fuel Cell fokuserar på att sälja celler, stackar och integrerade hot-boxar (Topsoe PowerCores™ - som omfattar de varma delarna av ett komplett system och ger på så sätt ett väldefinierat gränssnitt för systemintegration). Topsoe PowerCores innefattar integration av stack och varma BoP komponenter, har en liten volym (35 liter), en låg vikt (33 kg) och systemet är välisolerat. Notera att vatten endast behöver tillsättas vid uppstart (6-12 ml/per uppstart). Utanför PowerCore behövs värmare för uppstart, avsvavlade, luftblåsare samt värmeväxare för utgående luft samt bränsle. Systemet är designat med en recirkuleringsloop. En bränsleförbrukning på systemnivå på 86 % har testats, dock används vanligtvis 80 % och en O:C kvot på två. Notera att en ökad bränsleförbrukning minskar Nernst potential. Slutkunden nås genom partnerskap med integratörer, företag som har kanaler till marknaden (så som marknadsföring, försäljning och service). Topsoe Fuel Cell har riktat sin utveckling mot tre olika applikationsområden: mikrokraftvärme, hjälpkraft till mobila system (APUer) samt decentraliserad kraftvärme (d.v.s. nischerna omnämnda i den danska SOFC-strategin). Att fokusera på olika områden görs för att minska risken och för att nå en kommersiell volymproduktion snabbare (National SOFC-strategi, 2010-2020 (www.hydrogennet.dk) &

www.topsoefuelcell.com & Henrik Weineisen, Topsoe Fuel Cells, presentation på Fuel Cell Seminar 2012)



Figur 22. Topsoe Fuel Cell stack, Foto: Poul Moeller, Topsoe.

En av Topsoe Fuel Cells systemintegrationspartners är det finska företaget Wärtsilä. Topsoe Fuel Cell levererar SOFC-teknik i form av stackar, och Wärtsilä utvecklar och tillverkar system som är redo att installeras, med tillhörande kraftelektronik, övervakning och kontroll. Samarbetet mellan Topsoe Fuel Cell och Wärtsilä har resulterat i flera demonstrationsprojekt (National SOFC-strategi, 2010-2020 (www.hydrogennet.dk)):

- 2007: 20 kW SOFC-system med naturgas som bränsle
- 2009: 20 kW SOFC-system med soptippsgas som bränsle (Vasa, Finland)
- 2009/10: 50 kW SOFC-system med naturgas som bränsle (LargeSOFC och DemoSOFC)
- 2010: 20 kW SOFC-system med metanol som bränsle, installerad på ett fartyg (METHAPU)

Dantherm Power är ett spin-off företag till Dantherm A/S. Dantherm Power har ca. 50 anställda som arbetar med industriell forskning, utveckling, produktion och försäljning av bränslecellssystem för mikrokraftvärme och reservkraft. Dantherm började arbeta med integration av SOFC-system redan 2001. Under 2010 fusionerades Dantherm Power med bränslecellsavdelningen hos Danfoss och fick ytterligare en investerare i form av det kanadensiska PEM-bränslecellsleverantören Ballard Power Systems. Med Ballard, Danfoss och Dantherm som ägare har Dantherm Power tillgång till en stor mängd av immateriella rättigheter och tillgång till marknaden för mikrokraftvärmesystem genom Danfoss och hjälpkraft genom Dantherm. En större marknadsintroduktion planeras enligt Dantherm Power till 2013-2015 (National SOFC-strategi, 2010-2020 (www.hydrogennet.dk) & www.danthermpower.dk).

2.6 Analys – Hur ser det ut för Sverige?

Det satsas på europeisk nivå stort på bränslecells forskning i FCH-JU. Möjligheten för forskargrupper i Sverige att lyckas med stora EU-projekt torde öka betydligt med ett nationellt bränslecellsprogram. Det är vidare av betydelse att ett nationellt forskningsprogram för bränsleceller är långsiktigt, som jämförelse är det tyska forskningsprogrammet på 10 år och även den danska SOFC-strategin är på 10 år.

Det är inte bara ett långsiktigt forskningsprogram som saknas i Sverige, även ett långsiktigt marknadsintroduktionsprogram lyser med sin frånvaro. Som jämförelse har Storbritannien och Tyskland feed-in-tariffer på el som produceras i bränsleceller och sedan exporteras till elnätet. Andra alternativ för att öka konsumentens incitament till att installera bränslecellssystem är rabatter på momsen (görs i Storbritannien) eller investeringsbidrag (finns bl.a. i Japan, vissa delstater i USA och Tyskland). Det är rekommenderat att kombinera ett marknadsintroduktionsprogram med ett storskaligt demonstrationsprogram, t.ex. har det finska nationella bränslecellsprogrammet ett större demonstrationsprogram planerat i Helsingfors hamn under 2013. Notera att målsättningen med EUs finansiering av vätgas och bränslecells forskning är att accelerera marknadsintroduktionen (kommersialiseringen). Vidare är i Tyskland både forskning, utveckling och demonstrationsprojekt nära samordnade. En utmaning för småskalig kraftvärme i Sverige är det begränsade naturgasnätet. Det välutbyggda fjärrvärmnätet i Sverige är en konkurrent till distribuerad kraftvärme hos enskilda hushåll, men kan också vara till nytta för integration med dessa system. Långsiktiga marknadsintroduktionsprogram kan hjälpa till att locka utländska tillverkare av bränslecellssystem till Sverige, att jämföra med att australiensiska Ceramic Fuel Cells har etablerat en fabrik i Tyskland för att vara nära sina förväntade kunder (och även nära flertalet av deras leverantörer).

En viktig aspekt för Bloom Energys framgångar i USA är ett konsumenttryck på företag för ett ökat miljömedvetande, vilket gjort att Apple, Adobe och eBay m.fl. installerat bränslecellssystem. Inte att förglömma är att elproduktionen har olika stor miljöbelastning runt om i världen. Facebook valde att bygga en serverhall i Luleå p.g.a. tillgången till miljövänlig vattenkraft. Notera att det inte är de traditionella elbolagen som köpt och installerat bränslecellssystem (i USA), det är istället relativt stora elkunder. I Storbritannien har det australiensiska företaget Ceramic Fuel Cells fått marknadsföringshjälp då deras BlueGen system (småskalig SOFC-baserad kraftvärme) är en del av framtidens hem "Home of the Future" på "Channel 4". En liknande folkbildnings- och marknadsföringsinsats för att förbättra den svenska allmänhetens kunskaper relaterade till bränsleceller är önskvärd.

I USA satsas det federala medel på bränslecells forskning med hänvisning till att det möjliggör användandet av inhemska bränslen, vilket förväntas leda till ett minskad beroende av oljeimport t.ex. från Mellanöstern. Tanken är att använda förgasad kol eller skiffergas som bränsle. Integrationen av förgasningsanläggningar och storskaliga SOFC-system kan tillsammans ge en hög verkningsgrad. För svensk del vore det mer intressant att använda rester från skogsbruket för att producera biogas eller vätskeformiga kolväten.

Genom att integrera en förgasningsanläggning med ett storskaligt SOFC baserat kraftverk, eventuellt också kombinerat med en gas- eller ångturbin finns det framtida möjligheter för storskalig, miljövänlig och energieffektiv elproduktion. Som jämförelse byggs det redan bränslecellsanläggningar i multi-MW skala i Sydkorea (dock främst MCFC). Även den svenska försvarsmakten är en potentiell bränslecellskund, bl.a. har FMV drivit SOFC-projekt tillsammans med lundabaserade Catator AB.

Bränsleceller förväntas vara en viktig komponent i ett framtida smart elnät (smart grid) för elnätsbalansering, där elproduktion och konsumtion är starkare kopplat jämfört med idag. Vidare finns det möjligheter för bränsleceller, vid ett överskott på el, att baklänges producera vätgas, som används för att producera el när det är underskott på el. Dock måste vätgasen lagras, en tanke är att delvis använda naturgasnätet.

När det kommer till positioneringen hos svensk industri förbereder sig Sandvik för att leverera specialbelagt stål för bipolära plattor (både till SOFC och PEMFC). För Volvo är det intressant med ett APU system på 5-10 kW att använda i bl.a. lastbilar. Det skall nämnas att Volvo deltar i det europeiska SOFC baserade APU-projektet DESTA (Demonstration of first European SOFC Truck APU) där också J. Eberspächer, AVL List, Topsoe Fuel Cell och Jülich deltar. Bränsleceller (kanske inte nödvändigtvis SOFC) är också högtintressanta som reservkraft för mobilnätet, speciellt på marknader där elnätets tillförlitlighet har stora brister. Dock är det lämpligt med SOFC-system för kontinuerlig elnätsberoende drift av mobilnätet, t.ex. på svårtillgängliga platser. Ett svenskt bränslecellsprogram bör inte fokusera på enstaka applikationer då det ger stora risker, exempelvis fokuserar det danska bränslecellsprogrammet på flertalet olika områden för att minska risken och för att nå en kommersiell volymproduktion snabbare. Sammanfattningsvis är exportmöjligheterna för svenska storföretag som Volvo, Ericsson och Sandvik stora. Det bör nämnas att exportmöjligheter är en viktig beståndsdel i den danska SOFC-strategin.

3 IEA Annex 24 (Solid Oxide Fuel Cells)

Som en del i Elforsks bevakningsprojekt deltar Avdelningen för Värmeöverföring (Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Universitet) i IEAs Annex 24 som behandlar fastoxidbränsleceller. Annex 24 koordineras av Dr. Jari Kiviaho VTT, Finland. Aktiva partners i Annex 24 är Australien, Kanada, Danmark, Finland, Frankrike, Tyskland, Italien, Japan, Sydkorea, Sverige, Schweiz och USA.

Det övergripande målet för Annex 24 är en fortsättning och fördjupning av den öppna informationsutbytet för att påskynda utvecklingen av SOFC mot kommersialisering. Annex 24 anordnar en serie med en årlig workshop där representanter från de deltagande länderna presenterar statusen för SOFC-forskning, utveckling och demonstration inom deras respektive länder. När det är möjligt länkas dessa workshops till andra relevanta konferenser. Workshoparna leder till öppna diskussioner om gemensamma problem och bör ha realiserbara och genomförbara mål.

Tyvärr ställdes mötet under 2012 som var planerat att anordnas kopplat med Fuel Cell Forum i Lucerne, Schweiz in, p.g.a. att för få medlemmar bekräftade sitt deltagande i tid. Mötet under 2013 planeras att vara i samband med konferensen SOFC XIII i Okinawa, Japan (6-11 oktober).

4 Appendix

4.1 Ordlista

APU	auxiliary power unit extra kraftenhet / hjälpkraft
BMVBS	federala (tyska) ministeriet för transport, byggande och stadsplanering
BMWi	federala (tyska) ministeriet för ekonomi och teknik
BMBF	federala (tyska) ministeriet för utbildning och forskning
BMU	federala (tyska) ministeriet för miljö, naturskydd och kärnsäkerhet
BOP	balance-of-plant komponenter utanför stacken
CAS	Chinese Academy of Sciences kinesiska vetenskapsakademin
CHP	combined heat and power kraftvärme
CFCL	Ceramic Fuel Cells Limited
DCFC	direct carbon fuel cell dirketkolbränslecell
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DGC	Dansk Gasteknisk Center
DMFC	direct methanol fuel cell direktmetanolbränslecell
DOE	US Department of Energy amerikanska energimyndigheten
ENE-FARM	samlingsnamn för små kraftvärmesystem på den japanska marknaden Namnet ENE-FARM syftar till att ge den ekologiska bilden av att skörda sin egen energi.
FCH-JU	Fuel Cells and Hydrogen-Joint Undertaking EUs bränslecellsprogram
feed-in-tariff	Elavtal där konsumenten ersätts för el som matas ut på det allmänna elnätet
Hydrogenrådet	norsk expertpanel kopplat till olje- och energiministeriet samt transportministeriet
HT	high temperature (högtemperatur)

IEA	International Energy Agency
interconnect	fog
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design Certifieringsprogram i USA för "gröna" byggnader
LHV	lower heating value effektivt värmevärde
LT	low temperature (lågtemperatur)
MCFC	molten carbonate fuel cell smältkarbonatbränslecell
NEW-IG	The New Energy World Industry Grouping Industrigrupperingen i EUs bränslecellsprogram
n-ERGHY	the new European Research Grouping on Fuel Cells and Hydrogen Forskargrupperingen i EUs bränslecellsprogram
NSERC	Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada Kanadensiska naturvetenskapliga och tekniska forskningsrådet
NIP	National Hydrogen and Fuel Cell Technology Innovation program Det tyska statliga bränslecellsprogrammet
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Den tyska nationella organisationen Vätgas och Bränslecellsteknologi
PAFC	Phosphoric acid fuel cell Fosforsyrabränslecell
PEMFC	Polymer electrolyte membrane fuel cell Polymerelektrolytmembranbränslecell
SECA	Solid State Energy Conversion Alliance SOFC-program i USA där federala regeringen, privata näringslivet, akademiska institutioner och nationella laboratorier samarbetar
SGIP	California Self-Generation Incentive Program
SOFC	solid oxide fuel cell fastoxidbränslecell
stack	flera ihopmonterade celler
PNNL	Pacific Northwest National Laboratory

4.2 Valutakurser

1 \$ (US)	6,58 SEK
1 €	8,59 SEK
1 AUD	6,79 SEK
1 £	10,55 SEK
1 ¥ (J)	0,0824 SEK
1 NOK	1,16 SEK
1 DKK	1,15 SEK
1 CAD	6,62 SEK

Källa: Google/Citibank N.A (2012-10-22)

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