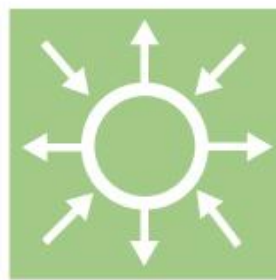


Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2008

Elforsk rapport 09:35



Mohsen Assadi

Februari 2009

Teknikbevakning av stationära fastoxidbränsleceller (SOFC) 2008

Elforsk rapport 09:35

Förord

Denna rapport är framtagen inom projektet Teknikbevakning av bränslecellsområdet under 2008 (Elforsk projektnummer 2539). Rapportens huvudsakliga slutsatser presenteras i en slutrapport för hela teknikbevakningsprojektet (Elforsk rapport 09:09).

Projektet har till största delen finansierats av Energimyndigheten. EON Sverige, ABB Corporate Research och Vätgas Sverige har bidragit med egeninsatser.

Stockholm januari 2009

Bertil Wahlund

Programområde EI- och värmeproduktion

Sammanfattning

Stationära högtemperaturbränsleceller (SOFC) har potential att nå hög elverkningsgrad även i små effektstorlekar (få kW). På grund av den höga avgastemperaturen ut från SOFC stacken finns det stor potential för att utveckla effektiva kraftvärmeapplikationer (CHP) med hög totalverkningsgrad.

Institutionen för Energivetenskaper, på Lund Universitet (LTH), har arbetat med modellering och simulering av bränslecellsystem under många år och deltar i Elforsk/STEMs teknikbevakningsprogram. LTH:s uppdrag är att rapportera om både egen forskning och om den internationella teknikutvecklingen inom SOFC området.

Detaljerade och validerade simuleringsverktyg baserade på både finita volymmetoden och Computational Fluid Dynamic (CFD) har utvecklats på LTH. Med hjälp av dessa verktyg kan olika driftförhållanden för SOFC anläggningar simuleras och effekterna på delsystem studeras. Verktygen kommer att vidareutvecklas inom ett pågående samarbetsprojekt med Stavanger Universitet, där experimentell data från testriggar i Stavanger kommer att användas för valideringsändamål.

Den internationella FoU arbetet inom SOFC området är fokuserat på reduktion av cellkostnaden och minskning av prestandaförsämringen. Det arbetas med både atmosfäriska och trycksatta applikationer. När det gäller FoU arbetet kan uppskalning av SOFC tekniken samt användning av nya bränslen, speciellt syngas från kolförgasning, nämnas.

Förutom Siemens som tidigare demonstrerat integrerade hybridssystem med SOFC och gasturbin, har Mitsubishi Heavy Industries rapporterat om lyckat demonstration med en 40 kW gasturbin och 200 kW SOFC modul. Rolls Royce arbetar också med utveckling och demonstration av ett hybridssystem bestående av en turboladdare och SOFC stack med total effekt på 200kW. Hybrida anläggningar kan nå elverkningsgrader på över 60 % vid ett par hundra kilowatts effekt.

Summary

Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) have potential to reach high electrical efficiency and are suitable for Combined Heat and Power (CHP) applications, due to the high exhaust gas temperature delivered by the stack.

Department of Energy Sciences at Lund University has been working with development of simulation tools for steady state and dynamic modeling of SOFC plants for more than a decade. The department is also involved in technology surveillance program organized by Elforsk and Swedish Energy Agency, aiming at following and reporting international research and development activities within the field of SOFC.

Detailed and validated simulation tools, based on finite volume elements and computational fluid dynamics, available at the department are capable of simulating various operational conditions of SOFC plants. These tools will be further developed using experimental data provided within the frame of a collaborative project with Stavanger University in Norway.

The international R&D activities are mostly focused on cost reduction for cell production and improved life time of the SOFC plants. Both atmospheric and pressurized SOFC systems are being developed in parallel. Scaling up the SOFC technology and using new fuels, especially syngas from coal gasification plants, are other R&D area that should be mentioned here.

Besides Siemens that demonstrated a hybrid plant consisting of a gas turbine and a SOFC stack for some years ago, Mitsubishi Heavy Industries reported successful demonstration of a hybrid plant with a 40kW gas turbine and 200kW SOFC stack. Pressurized hybrid systems have potential to reach high electrical efficiencies (above 60%) even at small sizes (few hundred kW).

Innehåll

1	Stationära fastoxidbränsleceller (SOFC)	1
1.1	Beskrivning av tekniken.....	1
1.2	Teknikbevakning 2008.....	5
1.3	Framtida utveckling	7

1 Stationära fastoxidbränsleceller (SOFC)

Bränsleceller har stor potential att nå hög elverkningsgrad vid mycket låga emissioner och detta även i småskaliga anläggningar. Detta gör bränslecellen till stark kandidat för småskalig kraftvärmeproduktion i den avreglerade energimarknaden. En annan viktig fördel, som är specifik för högtemperaturbränsleceller och i synnerhet fastoxidbränsleceller (SOFC), är deras bränsleflexibilitet. Högtemperaturbränslecellernas bränsleflexibilitet är en direkt följd av deras inre bränslereformeringsförmåga, vilket gör dem till lämpliga energiomvandlingstekniker med biogas som bränsle.

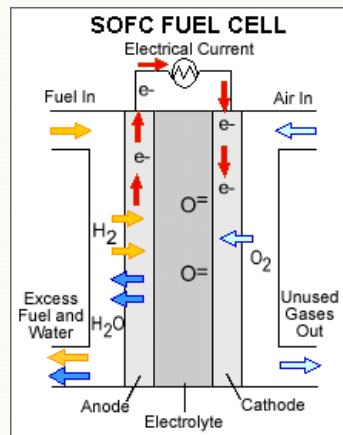
Institutionen för Energivetenskaper, vid Lunds Universitet, har under ett flertal år bedrivit forskning inom fastoxidbränslecellteknikområdet finansierad av STEM, EU och kraftföretaget EON. Bränslecellforskningen på institutionen har varit fokuserad på stationära tillämpningar för samtidig el- och värmeproduktion, d.v.s. kraftvärme. Forskargruppen har ett starkt internationellt nätverk.

Ett validerat simuleringsprogram skrivet i programmeringsspråket Fortran har utvecklats vid avdelningen för kraftverksteknik. Programmet är baserat på finta volymmetoden, och används för detaljerad SOFC modellering och simulering. Programmet som har validerats i samarbete med internationella partner, kan simulera såväl stationära som dynamiska driftförhållande. Ett annat modelleringsverktyg baserat på Computational Fluid Dynamic (CFD) har utvecklats vid avdelningen för värmeöverföring. Verktöget kan användas för detaljerade studier på reformer och SOFC stackar, så väl som för simulering av olika fenomen inom lågtemperatur bränsleceller. Verktögen kommer att testas och vidareutvecklas i samarbete med Universitetet i Stavanger i Norge, där ett nytt fyraårigt projekt för långtidstestning av SOFC med så väl naturgas som biogas startades vid årsskiftet 2008/2009.

Under år 2009 kommer professor Mohsen Assadi och adj. professor Lars Sjunnesson från LTH att delta i bevakningsprojektet. Samarbete mellan LTH och Bengt Ridell från Grontmij kommer också att fortsätta med samma omfattning som under 2008.

1.1 Beskrivning av tekniken

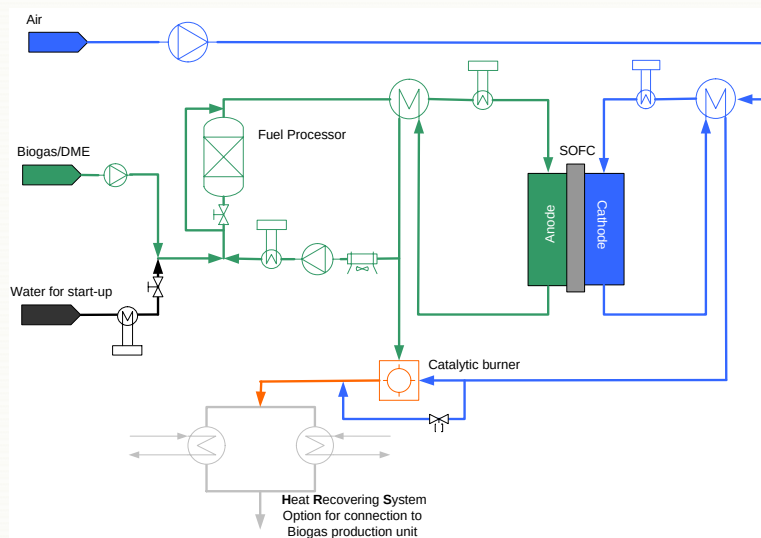
Bränsleceller har stor potential att nå hög elverkningsgrad vid mycket låga emissioner och detta även i småskaliga anläggningar. Fastoxidbränsleceller, SOFC, erbjuder dessutom stor bränsleflexibilitet och kan användas med såväl naturgas som biogas. SOFC består av anod, katod och fastoxidelektrolyt. Syre i luften joniseras vid katoden och transporteras genom elektrolyten. Vid reaktion med vätgas på anodsidan frigörs elektroner och värme samtidigt som vattenånga bildas. Figur 1 visar funktionssättet hos SOFC.



Figur 1: Funktionssättet hos fastoxidbränslecell

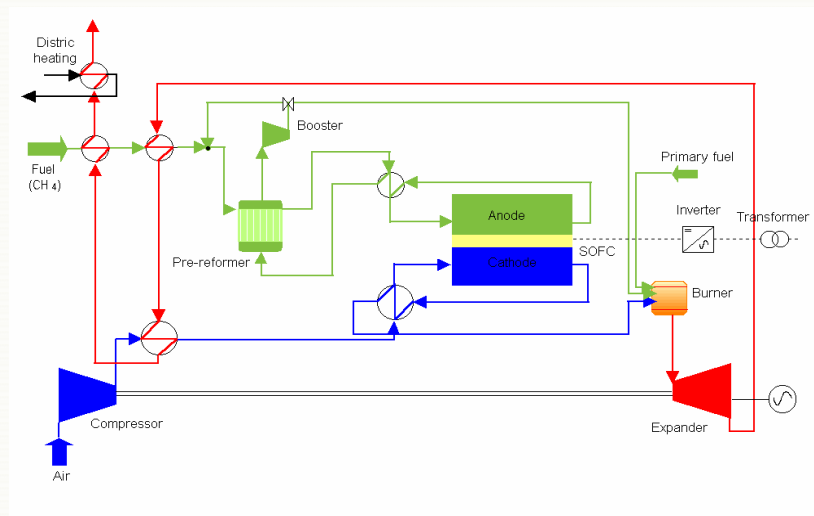
Bränslecellstacken kan arbeta antingen vid atmosfärstryck (stand alone) eller i trycksatt tillstånd, då i kombination med en gasturbin (hybrid plant).

Figur 2 visar exempel på standardutförande för atmosfäriskt bränslecells-system. Som det framgår av figuren, krävs ett antal komponenter (balance of plant components BoP) och kringutrustning för att få SOFC systemet att fungera.



Figur 2: Atmosfäriskt SOFC system för samtidig el- och värmeproduktion (CHP).

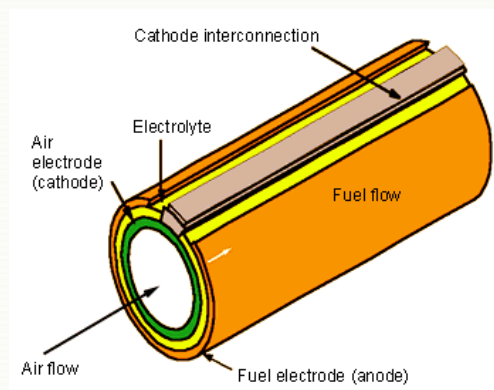
SOFC-systemets effekttäthet och verkningsgrad kan förbättras genom trycksättning. Därför har hybridkonceptet, där SOFC trycksätts med hjälp av en gasturbin, utvecklats. Figur 3 visar schematiskt hybridsystemets uppbyggnad.



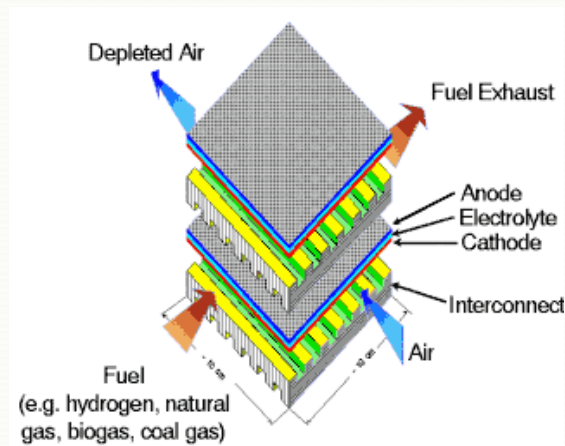
Figur 3: Hybridsystem med SOFC och gasturbin

Den senaste utvecklingstrenden för hybrida anläggningar är att värmeväxlare och fläktar byts ut mot ejektorer som kombinerar dessa funktioner, för att minimera investeringskostnaderna.

Det finns två huvudgrupper av SOFC design, tubformiga och plana bränsleceller. Båda har för- och nackdelar. En viktig fördel med tub design är enklare tätning jämfört med plana bränsleceller. Nackdelen med tub design är dess övre gräns gällande systemstorlek och dess högre produktionskostnad. Plana celler är svårare att täta men mer flexibla när det gäller systemstorlek. Figur 4 och 5 nedan visar den principiella uppbyggnaden av tubformade, resp. plana celler.



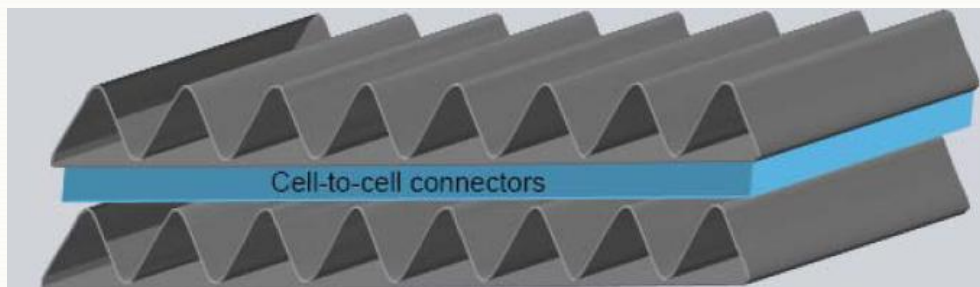
Figur 4: Tubformig SOFC



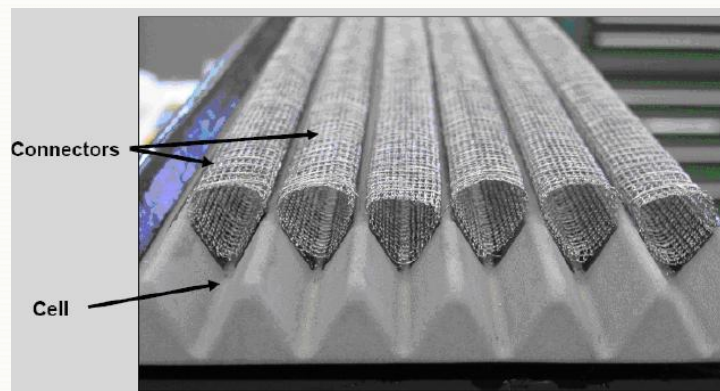
Figur 5: Plan SOFC

Den senast presenterade designen från Siemens kombinerar tubformade och plana celler i en ny design som kallas för "Delta" utförande.

Figur 6a och 6b visar Delta 8 konstruktionen med dess metalliska interconnect.



Figur 6a: SOFC stack med Delta 9 design



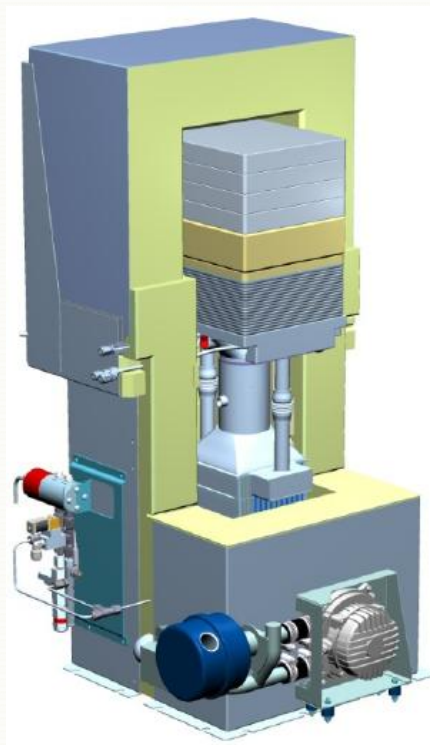
Figur 6b: Metallisk interconnect

1.2 Teknikbevakning 2008

Forskning och utveckling inom SOFC-området har fokuserats dels på utveckling av mellantemperatur celler (intermediate temperature SOFC) för reducering av kostnaden, och dels på långtidstester för att öka tillförlitligheten för tekniken och därmed underlätta kommersialiseringen. Testresultat från enheter på 5 till 250 kW rapporterades under 2008-års bränslecells-konferenser. Dessa demonstrationsprojekt avser visa den låga komponent-degraderingen och stora bränsleflexibiliteten hos SOFC system.

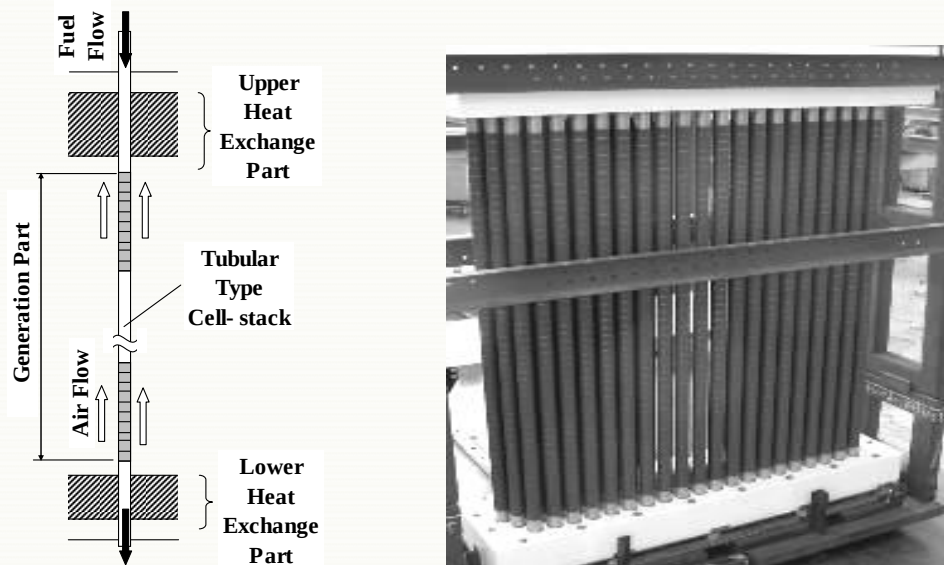
Det rapporteras om långtidstester med småskaliga anläggningar som arbetar vid atmosfärstryck, där tanken är att skala upp anläggningseffekten genom integrering av flera mindre enheter. Man har dock stött på problem som härstammar från ojämn flödesfördelning mellan delsystemen.

Den Australienska tillverkaren CFCL har satsat på att höja verkningsgraden för små enheter på 2kW och rapporterar om en order på 50 000 enheter till NOUN i Tyskland och Nederländerna. Figur 7 visar den konceptuella lösningen för CFCLs enheter.

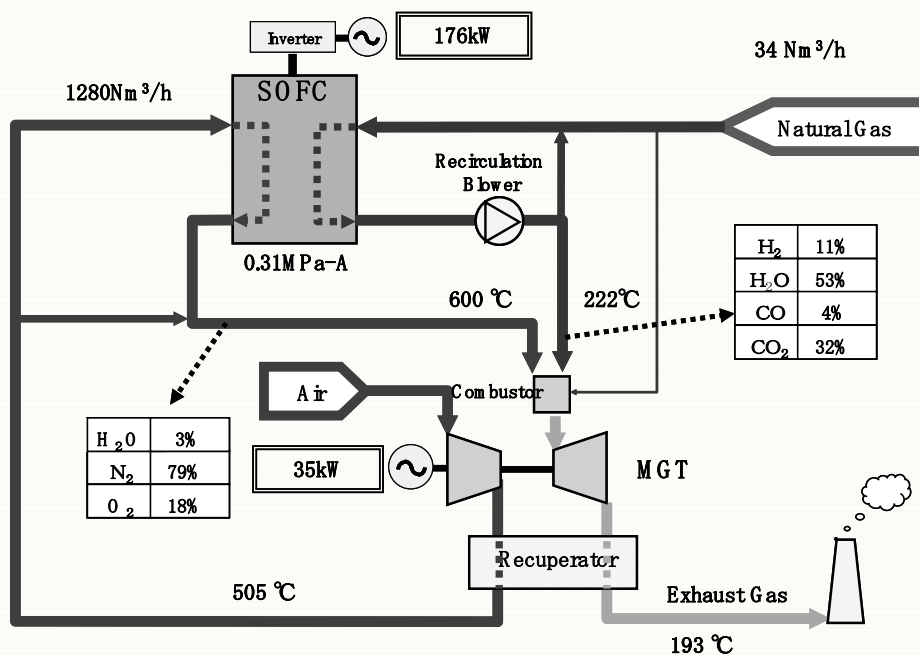


Figur 7: CFCLs 2 kW anläggning med elverkningsgrad på 50 %

När det gäller trycksatta anläggningar rapporterar Mitsubishi Heavy Industri (MHI) om framgångsrik demonstration av en 40 kW gasturbin integrerad med en 200 kW SOFC stack. MHIs koncept är baserat på tubformade bränsleceller som integreras till 50kW moduler som sedan kopplas samman och trycksätts i ett tryckkärl. MHI projektet ingår i det stora Japanska forskningsprogrammet "Cool Earth" Figurerna 8a och 8b visar stacken och en skiss över hybridssystemet.



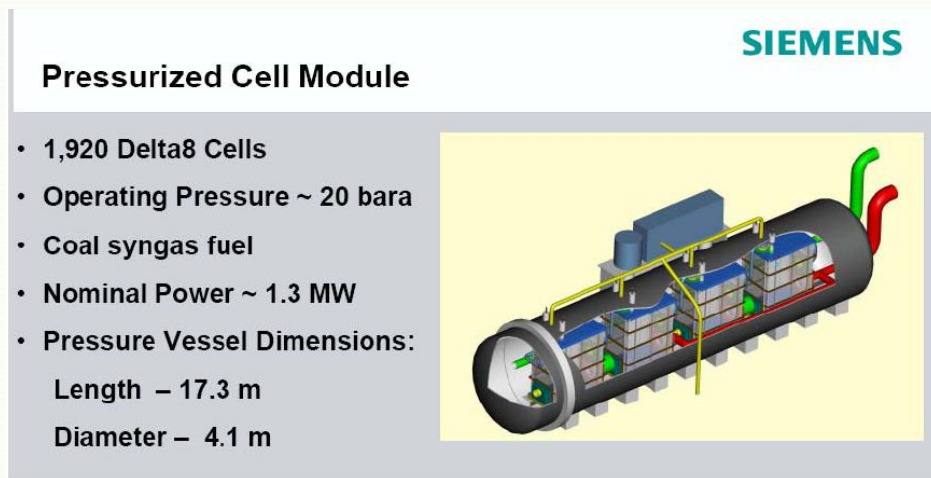
Figur 8a: MHI's bräncellelement och sammansatta celler i moduler



Figur 8b: MHI's hybridanläggning

Förutom MHI i Japan arbetar Rolls Royce och Siemens med utveckling av hybrida system.

Siemens arbetar med ett trycksatt system som ska drivas med gas från kolför gasning. Detta projekt är en del av det amerikanska SECA projektet. Figur 9 visar Siemens konceptuella design.



Figur 9: Syngasdriven SOFC koncept från Siemens

1.3 Framtida utveckling

De största hindren för kommersialisering av SOFC tekniken är hög kostnad och relativ snabb degradering. Hög arbetstemperatur (800-1000°C) anses vara förklaringen till både hög produktionskostnad och snabb degradering, speciellt i SOFC med metallisk interconnect. Även om hög arbetstemperatur leder till lägre internförluster och därmed högre verkningsgrad samt större bränsleflexibilitet (internreformering), anses termisk degradering orsakad av sintring och oxidation av bränslecellmaterialet vara den viktigaste orsaken till den snabba prestandaförlusten hos högtemperatur bränsleceller. Hög arbetstemperatur i SOFC systemet kräver både dyrare högtemperaturmaterial för själva cellen och dyr kringutrustning (BoP). Därför kommer forsknings- och utvecklingsarbetet inom SOFC-området att riktas mot reduktion av arbetstemperaturen till ca 650°C. Det finns dock företag som Rolls Royce (RR) i England, MHI i Japan och Prototech i Norge som håller fast vid högtemperaturceller. RR och MHI fokuserar utvecklingsarbetet på hybridanläggningar bestående av gasturbin och SOFC stack, och är därför beroende av hög arbetstemperatur i stacken. Prototech fortsätter arbetet med högtemperatur SOFC med keramisk interconnect eftersom deras tester visar livslängd och prestanda för dessa celler är högre än konkurrerande mellantemperatur celler med metallisk interconnect.

Forsknings- och utvecklingsarbete som riktas mot reduktion av SOFCs arbetstemperatur kan sammanfattas enligt nedan:

Reducerad arbetstemperatur resulterar i följande fördelar:

- Lägre degraderingshastighet
- Lägre korrosionshastighet, speciellt för interconnect-material
- Minskad spänning, orsakad av skillnader i termisk expansionskoefficient hos cell- och stack-komponenter
- Användning av billigare tätningsmaterial
- Användning av billigare metalliska komponenter
- Kraftig kostnadsreduktion för systemkomponenter (BoP)

Utveckling av nya cellgeometrier som plana tuber (Rolls Royce) och triangulära rör (Siemens) är senaste nytt inom SOFC utvecklingen.

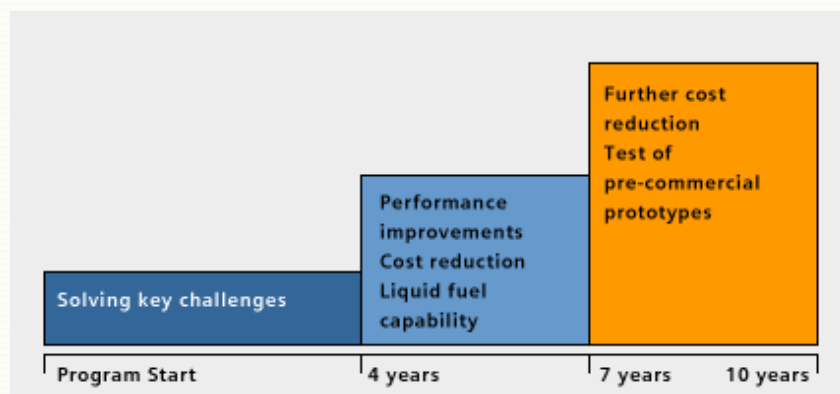
Uppskalning av SOFC tekniken har visats vara svårt. Detta beror främst på ojämn fördelning av luft och bränsleflöde genom stacken och över enskilda celler. Ojämn flödesfördelning leder till ojämn temperaturfördelning över cellerna och därmed termiska spänningar som leder till mekanisk utmattning och sprickbildning. Det pågår intensiv test- och utvecklingsarbete på olika håll i världen för att lösa uppskalningsproblemen.

Ett omfattande forsknings- och utvecklingsprogram i USA, SECA, har tre fokusområden för SOFC, nämligen reducering av tillverkningskostnaden för SOFC-anläggningar, utveckling av stora SOFC anläggningar som drivs med syngas från kolförgasning och samarbete mellan universitet, forskningsinstitut och industri för utveckling av SOFC teknologin.

Övriga deltagare i SECA förutom Siemens är Fuel Cell Energy - Versa Power, Delphi, Acumentrics och Cummins.

Programmet genomförs i tre faser över 10 år. I slutet av varje fas kommer en prototyp av SOFC system av storleksordningen 3-10 kW testas. Målsättningen är att kunna producera bränslecell för 400 USD/kW.

Figuren nedan visar programmets upplägg:



Figur 10: SECA programmets tidsplan

I Japan har man hundratals små enheter i drift som kraftvärmeapplikationer (CHP). Resultat från långtidstest med dessa enheter kommer att spela en viktig roll i den fortsatta satsningen på småskaliga SOFC baserade CHP anläggningar.

Som det har nämnts tidigare det pågår utvecklingsarbete inom "Cool Earth" programmet i Japan som syftar till utveckling av trycksatta hybridanläggningar med gasturbin och SOFC. Den teoretisk framräknade elverkningsgraden för hybridanläggningar är mer än 10 % enheter högre än atmosfäriska "stand alone" system.

I Sydkorea arbetar man parallellt med atmosfäriska och trycksatta system, men rapportering om utvecklingsarbetet har varit mycket begränsad under 2008.

Den Australienska bränslecell satsningen har fokuserats på förbättring av elverkningsgraden för små SOFC enheter (2 kW) och förlängning av deras livslängd. Genom att demonstrera bättre prestanda och längre livsländ, hoppas man kunna skapa en marknad för småskalig CHP i landet.