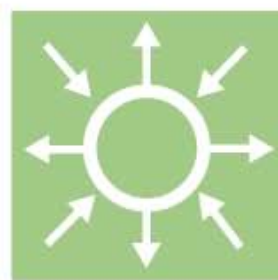
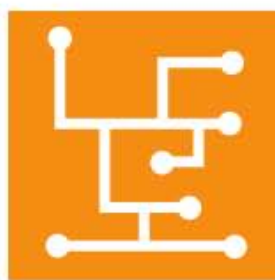


Teknikbevakning av stationära smältkarbonatbränsleceller (MCFC) 2009

Elforsk rapport 10:34



Carina Lagergren, Göran Lindbergh

Mars 2010

Teknikbevakning av stationära smältkarbonatbränsleceller (MCFC) 2009

Elforsk rapport 10:34

Förord

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

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

Stockholm mars 2010

Bertil Wahlund

Programområde El- och värmeproduktion

Sammanfattning

Smältkarbonatbränslecellen (MCFC) är idag en av de mest utvecklade bränslecellsteknikerna. Ett stort antal anläggningar är i drift runtom i världen och flera är på gång att startas. Totalt sett ligger den installerade effekten nu på mer än 100 kW och driftstider för en stack på 37 000 h har uppnåtts. Systemens storlek varierar eftersom MCFC oftast byggs i moduler på några hundra kW. Generellt sett ligger storleken på de färdiga systemen från 250 kW_e upp till några MW_e och ska därför jämföras med mindre kraftvärmeanläggningar. Elverkningsgraden är ca 50 %, medan totalverkningsgraden är omkring 90 %.

MCFC är tack vare den höga arbetstemperaturen (och därtill kopplade materialval) väldigt bränsleflexibel och ett ökande antal system används med förnybara bränslen. Exempel på detta är installation av MCFC-system i kommunala reningsanläggningar och livsmedelsindustrier, där redan vätgasinnehållande bränsle finns på plats i form av rötgas eller restgaser från produktionen. I dessa applikationer kan också den värme som produceras i bränslecellen tas tillvara på ett bra sätt för t.ex. förvärmning av det material som skall rötas eller för uppvärmning av byggnaderna.

Summary

The molten carbonate fuel cell is today considered as one of the most developed fuel cell technologies. A large number of plants are operating at different sites all over the world and new ones are continuously started. In total more than 100 kW_e are installed today and stacks have been running for more than 37 000 h. MCFCs are often built in modules of some hundreds kW and the size of the systems is varying. In general the size of the stacks are ranging from 250 kW_e up to a few MW, corresponding to smaller heat and power production plants. The electrical efficiency of the systems is about 50 %, while the total efficiency approaches 90 %.

Thanks to the high operating temperature MCFC is very fuel flexible and an increasing number of systems are running on renewable fuels. For example MCFCs are installed in municipal wastewater treatment plants and in food industries, where already present hydrogen containing gases can be used as fuel. In these applications the heat produced in the fuel cell can also easily be used, for instance for preheating of the sludge being digested.

Innehåll

1	Tekniköversikt	1
2	Aktörer inom MCFC-området	4
2.1	Fuel Cell Energy	4
2.2	MTU Onsite Energy	7
2.3	Ansaldo Fuel Cells	10
2.4	POSCO Power	11
2.5	CRIEPI	13
2.6	Tubitak Marmara Research Centre	14
3	Teknikbevakning under 2009	15
4	Viktiga händelser under 2009	16
5	Framtida utveckling	17

1 Tekniköversikt

Smältkarbonatbränslecellen (MCFC, molten carbonate fuel cell) tillhör kategorin högtemperaturbränsleceller. Den höga arbetstemperaturen (runt 650°C) möjliggör oxidering av både gas- och vätskeformiga kolväten, kolmonoxid och vätgas utan användning av ädelmetall i katalysatorerna eller föregående omvandling av bränslet i en extern reformer. MCFC är således mycket flexibel när det gäller valet av bränsle, såvida bränslet har en låg svavelhalt (<1 ppm).

De elektrokemiska reaktionerna sker på nickelbaserade elektroder i närvaro av en blandning av smälta karbonater såsom litium-, kalium- och natriumkarbonat. Oxidationen av bränslet sker på anoden. I exemplet nedan används vätgas som bränsle. På katoden används syre direkt ur luften, samt koldioxid recirkulerad från anodens utlopp.

Anodreaktion: $\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$

Katodreaktion: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$

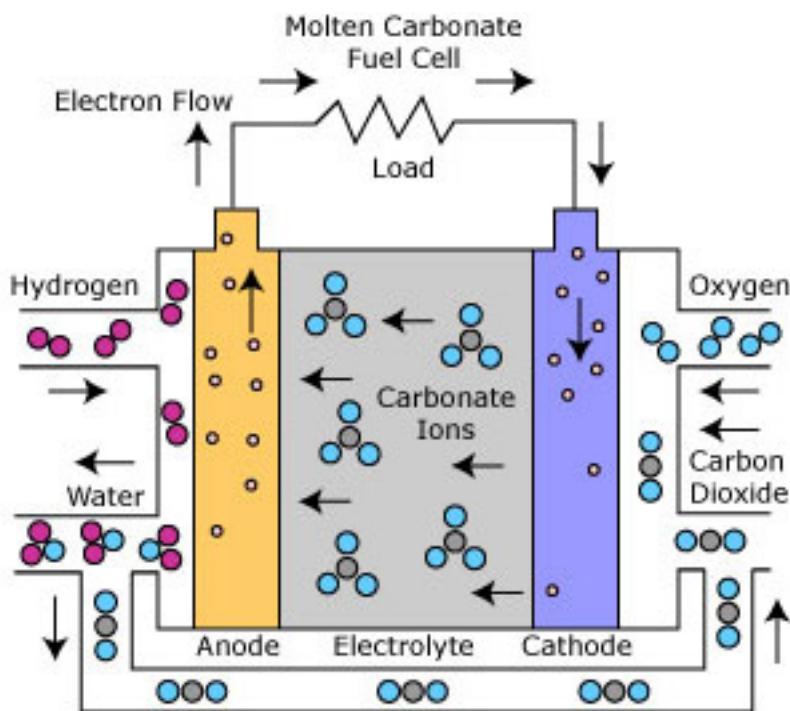


Fig. 1. Principskiss över en enskild cell i en MCFC. [US Department of Defence].

Den höga driftstemperaturen i MCFC medför både för- och nackdelar i jämförelse med bränsleceller som arbetar vid lägre temperatur, t ex PEFC och PAFC. Som nämnts ovan behövs inga ädelmetallkatalysatorer i elektroderna, vilket ju resursmässigt och ekonomiskt är en fördel. Den värme som bildas som biprodukt i cellen kan också användas i många tillämpningar och därmed öka totalverkningsgraden för cellen.

En nackdel med den höga temperaturen, och närvaron av ett salt, är att problem med korrosion på de olika komponenterna lätt kan uppstå. Ett ytterligare minus med den höga temperaturen är att det krävs en del tid för att nå driftsförhållanden i cellen och MCFC svarar också relativt långsamt på ändringar i last. Detta medför att MCFC är mest lämpad för stationära tillämpningar där en konstant last efterfrågas. En nackdel som inte är direkt kopplad till arbetstemperaturen är att överföringen av CO₂ från anodens utflöde till katodens inflöde inte är helt enkel, speciellt inte om denna skall ske så att optimal cellprestanda erhålls.

Smältkarbonatbränslecellen började utvecklas under 1960-talet, men sedan dess har såväl material, produktionstekniker, prestanda och livslängd förbättrats avsevärt. De stora satsningar som gjorts under de senaste decennierna har gjort att MCFC idag är en av de mest utvecklade bränslecellsteknikerna och ett flertal anläggningar är i drift runtom i världen. Totalt sett ligger den installerade effekten nu på mer än 100 MW (jfr 22 MW, 2007) och man har uppnått driftstider på 37 000 h för en stack.

Av den totalt installerade effekten är ca 70 MW installationer som syftar till nätförsörjning (grid support), medan ett tiotal MW är installerade i spillvattenanläggningar. Resten av den installerade effekten återfinns i bl a hotellbyggnader, produktionsanläggningar, sjukhus och universitet främst i Tyskland, USA och Syd-Korea.

MCFC byggs oftast i moduler på några hundra kW och systemens storlek kan därför lätt varieras. I allmänhet ligger storleken på de färdiga systemen från 250 kW_e upp till några MW_e och ska därför jämföras med mindre kraftvärmeanläggningar.

Driftsbetingelserna för smältkarbonatbränslecellen påverkar prestanda, men totalverkningsgraden är jämförbar med traditionella kraftvärmeanläggningar. Bränslecellstacken har en elverkningsgrad på ca 50 %, som kan ökas till 65 % genom tillkoppling av en gasturbin, och en totalverkningsgrad på upp emot 90 %. Tillförlitligheten och tillgängligheten på de system som idag finns installerade är mycket hög, över 95 %.

Den höga tillgängligheten används ofta som ett starkt säljargument av företagen och många kunder kan betala lite extra för att få en pålitlig teknik med stor tillgänglighet. Ett stort antal MCFC-system finns installerade vid t ex reningsverk och i tillverkningsprocesser främst inom livsmedelsindustrin. Bränslet utgör i dessa fall en låg kostnad då det i dessa tillämpningar redan finns på plats i form av metanhaltigt avfall/biprodukter. I reningsverken bildas bränslet till bränslecellen genom anaerob jäsning av rötslammet. Vattenreningsprocessen blir mycket energieffektiv då den elektriska ström som genereras i bränslecellen används för att driva vattenreningsanläggningen, medan den värme som produceras används till förvärmning av rötslammet inför den anaeroba jäsningen.

Materialen i bränslecellsstacken består till mer än 50 % av metalliska material och materialfrågor är och har varit en kärnfråga för MCFC. Livslängden hos materialen i cellen, liksom produktions- och materialkostnaderna, är viktiga frågor att lösa för att en bred kommersialisering av MCFC skall komma till stånd.

När det gäller bränslen, så har MCFC till skillnad från andra bränslecellstekniker redan från början utvecklats för användning med naturgas. Då endast begränsad (finns bl a i Tyskland) infrastruktur för vätgas finns idag, så arbetar inte heller någon tillverkare med MCFC för vätgas. Som framkommit ovan finns däremot ett stort intresse för att använda MCFC i applikationer där kolvätebaserade bränslen redan finns tillgängliga i processen. Bland annat finns ett flertal exempel på installationer i ölbryggerier (i USA, Japan och Tyskland). I de restgaser som uppkommer i dessa olika applikationer finns ofta föroreningar (svavel-, fluor- eller kväveföreningar, partiklar) i olika mängd som kan vara besvärliga att få in i smältkarbonatbränslecellen. Forskning av föroreningars inverkan på elektrodprocesserna är därför av stort intresse.

Smältkarbonatbränslecellen (MCFC, molten carbonate fuel cell) är en högttemperaturbränslecell där de kemiska reaktionerna sker på nickelbaserade elektroder i närvaro av en blandning av smälta karbonater såsom litium-, kalium- och natriumkarbonat. Den höga temperaturen (runt 650°C) möjliggör oxidering av både gas- och vätskeformiga kolväten, kolmonoxid och vätgas utan användning av ädelmetall i katalysatorerna. MCFC är således flexibel när det gäller valet av bränsle, såvida bränslet har en låg svavelhalt (<1 ppm). Oxidationen av bränslet sker på anoden. På katoden används syre direkt ur luften, samt koldioxid recirkulerad från anodens utlopp.

2 Aktörer inom MCFC-området

Det finns idag några industriella aktörer på marknaden, Fuel Cell Energy (FCE) i USA, MTU Onsite Energy (MTU, tidigare CFC Solutions) i Tyskland, POSCO Power i Korea och Ansaldo Fuel Cell (AFC) i Italien. Förutom i dessa länder pågår också vissa aktiviteter i Turkiet och Japan. I nedanstående sammanställning återfinns korta beskrivningar av verksamheten hos de enligt vår mening viktigaste aktörerna. Sammanfattningen omfattar däremot inte akademisk forskning på universitet och högskolor, som idag pågår i bl.a. Japan, Frankrike, Grekland, Italien och Sverige.

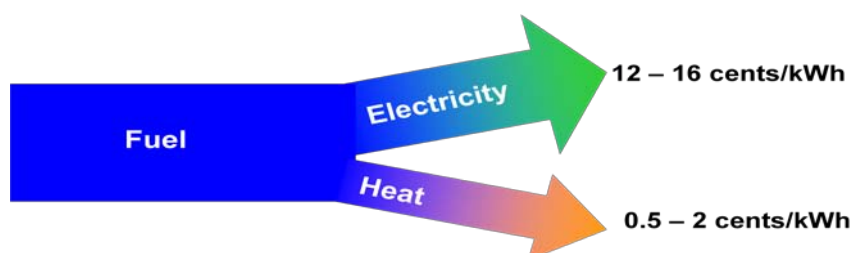
2.1 Fuel Cell Energy

Fuel Cell Energy (FCE) har mer än 40 års erfarenhet av arbete med bränsleceller varav 30 år är med högtemperaturbränsleceller. Den första och viktigaste milstolpen passerades 1992 då man kunde demonstrera ett väl fungerande MCFC-system på 120 kW. Efter detta fortsatte utvecklingen av deras patenterade "Direct Fuel Cell" och 1996 kunde man koppla in det 2 MW stora systemet i Santa Clara i Kalifornien. Efter detta har verksamheten fortsatt och fram till idag har man investerat mer än 530 miljoner USD i forskning, utveckling och produktion.

FCE är helt klart världsledande när det gäller utveckling och produktion av stationära bränslecellsanläggningar för kommersiella och industriella tillämpningar. FCE har installationer på drygt 55 platser i världen, främst i USA och Korea och totalt har deras anläggningar producerat mer än 400 GWh elektricitet.

FCE tillverkar sina stackar i sin fabrik i Tonnington, Connecticut, USA. Tillverkningskapaciteten ligger på 50 MW/år, men idag producerar man 30 MW/år. Man planerar att bygga ut kapaciteten för sin tillverkning till 150 MW/år. De fyra produkter man marknadsför (DFC300MA, DFC1500MA, DFC3000 och DFC-ERG) har en elektrisk effekt på mellan 300 kW och 2,8 MW, men systemen är skalbara upp till 50 MW. DFC-ERG är ett hybridsystem där bränslecellen är kopplad med en gasexpansionsturbin, som tillvaratar den energi som normalt förloras då inkommande gas kopplas över från de stora transportledningarna till det lokala ledningsnätet. Elverkningsgraden för detta system ligger på 65 %, medan övriga system har en elverkningsgrad på 47 %. Kopplas bränslecellerna ihop med en traditionell gasturbin blir elverkningsgraden 58 %.

FCEs bränsleceller körs på gasformiga bränslen, såsom propan, naturgas, kolgas och rötgas, som internreformeras i stacken. Mer än 30 % av FCEs installationer körs idag på förnyelsebar biogas. I kraftproduktion slutar allt bränsle som elektricitet och värme, men eftersom el är värt mellan 6 och 30 gånger så mycket som värme, så är det enligt FCE elverkningsgraden som är nyckeln till framgång hos kunderna.



*Fig. 2. Producerad elektricitet är värd många gånger mer än producerad värme. Relationen mellan el och värme är nyckeln till framgång!
[www.fuelcellenergy.com]*

Sammanlagt har FCE sålt och/eller installerat 97 MW världen över. I tabellen nedan framgår hur den sålda effekten fördelar sig över olika delar av världen, samt till vilka applikationer de används. Noteras bör att så stor del som 68 MW av den hittills sålda effekten är såld till Korea, varav 23 MW redan är installerad och anläggningarna är alla kopplade till det elektriska nätet. De används dessutom för produktion av såväl värme som kyla i sk tri-generationssystem.

Tabell 1. Fördelning av FCEs hittills sålda 97 MW över områden och tillämpningar

97 MW, fördelade på geografiska områden	97 MW, fördelade på tillämpningar
Japan, 4MW	Elektriska nätet, 69 MW
Korea 68 MW	Avloppsvatten/förnybart, 9 MW
Kalifornien/ USAs västkust, 17 MW	Universitet/sjukhus, 2 MW
Nordöstra USA/ Kanada, 5 MW	Tillverkning, 7 MW
Europa, 2 MW	Hotell, 3 MW
	Statligt, 5 MW
	DFC-ERG, 2 MW

FCE har en hel del långsiktiga samarbeten med såväl företag som statliga organisationer. Det stora antalet anläggningar levererade till Korea är exempel på ett sådant samarbete. POSCO Power har sedan några år haft ensamrätt i Korea att sälja MCFC-tekniken genom ett avtal med FCE som innebär att man köper bränslecellstackar från dem och sedan bygger in i sina egna system. Under 2009 har FCE givit en ny licens till POSCO Power som innebär att POSCO Power kan köpa cellkomponenter från FCE och även bygga egna bränsleceller. I takt med att FCE ökar volymen på sin produktion kan man sänka sina kostnader. Samtidigt går priset på elektricitet upp, vilken ger en gynnsam situation framöver.



Fig. 3. Fuel cell Energy's produktionskostnader minskar medan elpriserna går uppåt. [www.fuelcellenergy.com]



Fig. 4. Fuel Cell Energy's installation av MCFC hos företaget Gills Onions. [www.fuelcellenergy.com]

Ett exempel på installation som FCE gjort under 2009 är från livsmedelsbranschen. Det är företaget Gills Onions som ville kunna använda de tonvis med lökrestprodukter som erhålls i deras produktion till något nyttigt. Lösningen är att i en rötanläggning på plats anaerobt röta avfallet och producera biogas. För att påskynda rötningen av löksaft till metan används värme från livsmedelsproduktionen. Efter rötningen kvarstår en fast rest som säljs som boskapsfoder. Den producerade gasen går till en 600 kW MCFC för produktion av 35-45 % av företagets elektricitetsbehov. Genom installationen av denna anläggning beräknas Gills Onions spara ca 700 000 USD per år, förutom det utsläpp av 30 000 ton växthusgaser som också försvinner.

2.2 MTU Onsite Energy

MTU Onsite Energy (tidigare CFC solutions) i Tyskland har ca 100 anställda och har sedan 1990 sitt huvudkontor i Ottobrunn utanför München. Där utvecklar, producerar och säljer man stationära bränslecellsystem med elektriska effekter över 250 kW, men också andra system för distribuerad kraftproduktion baserade på diesel och gas.

MTUs MCFC-system kallas Hot Module och deras senaste modeller heter HM 400B, HM 400N, HM 400S och HM 400M, vilka körs med biogas, naturgas, rötgas (sewage gas) respektive metanol. Den elektriska effekten är på 345 kW i dessa system. Bränslecellsstacken består av 500 celler i en sandwich-konstruktion och gaserna tillförs i sk tvärsflöde (cross-flow). Systemen finns i drift på ett drygt tiotal platser runtom i världen, främst i Europa. Tills nu har MTU köpt in själva bränslecellsstackarna från Fuel Cell Energy, men det avtalet löpte ut den 31 december 2009 och man producerar nu sina egna bränsleceller. Systemen är avsedda för såväl co-generation som tri-generation, dvs de producerar elektricitet och värme alternativt värme/kyla. Man redovisar elverkningsgrader på 45-49 % och termisk verkningsgrad på upp till 40 %. Verkningsgraden i systemen är oberoende av vilken last som tas ut, något som i allmänhet skiljer bränsleceller från de flesta andra system. Tillgängligheten för deras system ligger på över 90 %.

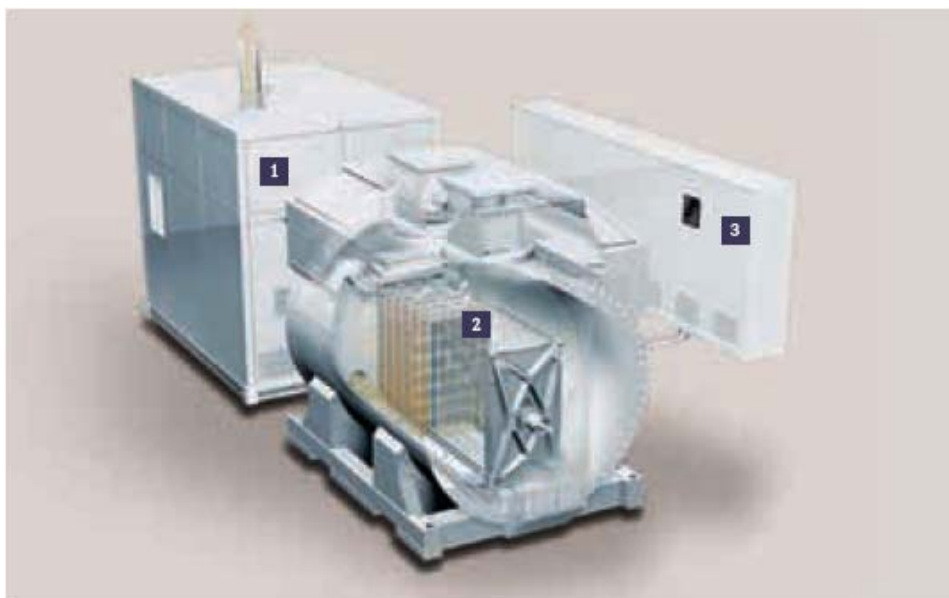
MTU Onsite Energy marknadsför gärna sina bränslecellsystem mot användning tillsammans med biogaser av olika slag och man har många olika exempel på tillämpningar där bränslet redan finns tillgängligt på plats. CO₂ i bränslegasen har en negativ påverkan på de flesta andra bränsleceller, men i MCFC kan man till och med få en något högre elektrisk verkningsgrad då man kör på CO₂-rik gas. Problem med föroreningar såsom svavelföreningar kan däremot orsaka problem då man använder t.ex. rötgas som bränsle.

Ett komplett bränslecellsystem från MTU Onsite Energy består av tre olika delar: gasbehandlingsenheten där ingående gaser förbehandlas (avsvavlas, upphettas, uppfuktas), bränslecellsmodulen (Hot Module) i vilken bränslecellsstacken är huvudkomponent, samt kontroll och omvandlingsenheten där strömmen växelriktas.

MTU Onsite Energy har som nämnts ovan ett ganska stort antal system installerade för många olika tillämpningar, exempelvis i datacentraler, industrier och i avfallsanläggningar, där man kan tillvarata såväl producerad elektricitet, som värme/kyla. De flesta installationerna finns i Tyskland. Den anläggning som körts längst tid har varit i drift 46720 timmar (25 jan, 2010)

och är placerad vid ett sjukhus i Bad Berka. Systemet drivs med naturgas och förser sjukhuset med såväl elektricitet som värme och kyla. Man är nu inne på den andra stacken, eftersom den första stacken byttes ut efter 24 000 timmars drift.

I december 2009 fick man en order på en HM 400B från företaget Reich GmbH, vilka tillverkar precisionsdelar och specialkullager till bland annat bilindustrin. Systemet beräknas vara installerat hösten 2010 och skall kunna förse produktionsanläggningen med ström, värme och kyla. Bränslet skall produceras i ett närliggande biogasverk som matas med majsensilage.



*Fig. 5. Bränslecellssystemets tre delar: 1) Gas beredning och system kontroll, 2) Bränslecellsstack, 3) DC/AC-omvandlare.
[www.mtu-online.com]*

Liksom FCE har MTU Onsite Energy också sett en möjlighet i att använda sitt energikoncept i bryggeribranschen. Att brygga öl är en väldigt energikrävande process och på ölbryggeriet Erdinger Weissbrau i Bayern har man installerat ett MCFC-system för att kunna bli mer energieffektiva. När ölproduktionen är som störst så tillverkar man på detta bryggeri ca 85 000 liter/timme. Totalt i produktionen används ca 50 000 kubikmeter vatten per år, dels till själva öltillverkningen, men också till rengöring av olika delar i bryggeriet. Spillvattnet går vidare till en anaerob jäsningsanläggning i bryggeriet. I denna produceras gas med en metanhalt på 85 %, vilket är ett perfekt bränsle för MCFC. Den värme som produceras i bränslecellen är på ca 400°C och värmeväxlas för att sedan användas till uppvärmning av byggnaderna, samt till att noggrant kontrollera temperaturen i lagerrummet.



Fig. 6. MCFC-systemet vid Erdinger Weissbrau i Bauern [www.mtu-online.com]

Ett mycket intressant projekt som MTU Onsite Energy deltar i är det sk. FellowShip (Fuel cells for low emissions ships). MTU har till detta projekt levererat en Hot Module med effekten 320 kW som skall komplettera kraftförsörjningen ombord på off-shore-fartyget "Viking Lady", som ägs av det norska varvet Eidesvik. Viking Lady är ett ca 90 meter långt fartyg som används för leveranser till och från gas- och oljerigggar i Nordsjön. Bränslecellen, och även motorerna ombord, använder naturgas som bränsle i form av vätskeformig sådan (LNG). LNG är en biprodukt från oljeextraktionen som Viking Lady samlar upp och transporterar från oljeriggarna. I hamn eller i stand-by-läge kan gasmotorerna stängas av och fartyget kan helt och hållet förses med kraft från bränslecellerna. Detta ses som mycket fördelaktigt då allt striktare regler angående utsläpp i hamnar införs. I flera länder baseras redan idag de hamnavgifter man betalar på hur mycket farliga utsläpp som görs från fartyget.

Förhållandena ombord på ett fartyg på Nordsjön är mycket speciella med kraftiga vindar och höga vågor. Bränslecellssystemet har därför fått modifieras för drift då kraftiga vibrationer kan förekomma och en speciell konstruktion för att hålla fast stacken mot fartygsskrovet har gjorts. Man har också fått arbeta med tätningen mellan de olika gasrummen och med den elektriska isoleringen. De tre huvuddelarna i systemet, stacken, gasbehandlingen och kraftelektroniken, har alla placerats i en gemensam rektangulär container. Innan bränslecellssystemet har placerats ombord på fartyget har det genomgått utförliga tester på land med förhållanden som skall efterlikna de ombord. Efter dessa tester sattes slutligen systemet ombord på fartyget i september. Man kommer att testa bränslecellssystemet ombord under tio månader och under de första månaderna kommer man att ha personal från MTU ombord hela tiden. I samband med klimatveckan i

Köpenhamn i december gjorde Viking Lady en paus i sitt arbete på Nordsjön och passade på att visa upp sig som världens mest miljövänliga skepp.



Fig. 7. Bränslecellssystemet från MTU Onsite Energy lyfts ombord på Viking Lady. [www.mtu-online.com]

Sammanfattningsvis kan sägas att MTUs Hot Module har uppvisat goda resultat i många praktiska demonstrationer sedan 1997. Idag tillverkar MTU Onsite Energy moduler med elektrisk effekt på 250-350 kW och termisk effekt på 170-250 kW. Framöver kommer användningen av standardiserade komponenter möjliggöra tillverkning av system på allt mellan 250 kW och 2 MW.

2.3 Ansaldo Fuel Cells

Ansaldo Fuel Cells (AFC) i Italien, som bildades år 2001, har idag ca 60 personer anställda, att jämföra med de 100 personer som arbetade där i början av 2008. AFC startades som en avknoppning från Ansaldo Ricerche, men är nu en enhet under Ansaldo Energia. Man har varit aktiva inom forskning och utveckling av MCFC i drygt 20 år och med sina 60 anställda så har man mer än 900 års erfarenhet på området.

Till skillnad mot MTU Onsite Energy så har företaget hela tiden satsat på egen tillverkning av cellkomponenter (i Bosco Marengo, Italien) och man har sedan år 2004 en stacktillverkningsenhet i Terni, Italien. I Bosco Marengo sker även fullskaletest och konditionering av stackarna. Övriga komponenter i bränslecellssystemet köps in från andra tillverkare. Deras teknik är skyddad av ett tjugotal patent.

AFCs första system på 100 kW blev färdigt 1999 och man har sedan dess genomfört ett tiotal demonstrationer av sina olika system. För närvarande har man två fullskaliga fälttester igång. Den ena, TecnoDemo som är en

singelstack på 100 kW, har varit igång i över 30 000 h (12 000 h kontinuerlig drift med den första stacken). En annan multistack, GP, har varit i drift i 10 000 h. AFC har alla sina system trycksatta och man arbetar med extern reformering av bränslen. Systemen är individuellt anpassade till speciella applikationer och har körts på naturgas, rötgas, förgasad biomassa, deponigas, marint diesel och syngas.

Under 2009 har AFC fokuserat mer och mer på användningen av MCFC för CCS (CO₂ capture and storage), en unik möjlighet att på en och samma gång producera elektrisk energi och ta hand om CO₂. Istället för att cirkulera koldioxiden från anodens utgående gas till katodens ingas, så låter man en koldioxidinnehållande avgas från t ex en kolpanna vara ingående gas på katodsidan. På detta sätt bortför man CO₂ från avgasen/katodgasen och får istället en högre CO₂-halt i anodens utgående ström, som då lättare kan avskiljas. På företaget anser man att tillämpningen med CCS skulle kunna öka produktionsvolymen av MCFC med åtminstone två storleksordningar jämfört med om de används enbart för distribuerad kraftproduktion. Volymsökningen skulle leda till en dramatisk kostnadsminskning som annars inte skulle vara möjlig. Man ser också att CCS-systemen kan byggas upp steg för steg, tack vare modulutformningen av MCFC, vilket skulle minska höga initiala investeringar.

AFC deltar sedan i september 2005 i ett EU-finansierat femårigt projekt (MC-WAP) som syftar till att få fram ett MCFC-system för marina applikationer. Målet för projektet är ett multi-MW-system som skall användas som hjälpkraft på stora fartyg (Ro-Ro, Ro-Pax, kryssningsfartyg) och som skall drivas med marin dieselolja.



Fig. 8. Ansaldo Fuel Cells stacktillverkning sker i den egna anläggningen i Terni, Italien

2.4 POSCO Power

I Korea började man 1993 forska på området smältkarbonatbränsleceller och mycket stora satsningar har gjorts för att få igång produktion av dessa celler. POSCO är sedan 40 år en mycket stor stålproducent i Korea och man har i sin tillverkning haft fokus på energieffektivitet. Sedan 2003 arbetar man genom företaget POSCO Power med smältkarbonatbränsleceller. Eftersom rostfritt stål är en av huvudkomponenterna i MCFC ser POSCO här en bra möjlighet att med hög lönsamhet utveckla såväl huvud- som dotterbolaget.

POSCO Power satsar stort och man har investerat stora pengar i produktionsanläggningar för såväl balance-of-plant som för stacktillverkning. BoP-anläggningen har en kapacitet på 50 MW bränslecellssystem per år. Sedan tidigare har POSCO Power ett avtal med Fuel Cell Energy som innebär att man har tillgång till FCEs tillverknings- och underhållstekniker och man har också köpt in sina bränslecellsstackar från dem. Under 2009 har man också fått en licens från FCE att bygga sina egna stackar utifrån Fuel Cell Energys komponenter. I dagsläget har man i Korea lämnat order till FCE på totalt 68 MW, men redan idag har man 23 MW MCFC-system i drift i olika applikationer, se tabell 2.

Tabell 2. Status på installationer i Korea.

	Location	Type	Operation date	Power [kW]
Actual proof	Pohang industrial research institute (RIST)	DFC300A	2005-04-28	250
	Tancheon water Recycling center of Seoul	DFC300A	2006-04-01	250
	Chosun university hospital (Kwangju)	DFC300A	2005-11-04	250
Industrial-use Power generation	Namdong power generation (Bundang, Gyeonggi)	DFC300MA	2006-11	300
	POSCON (Pohang, Gyeongbuk)	DFC300MA	2006-03	2400
	POSCO Power (Pohang, Gyeongbuk)	DFC1500MA, 2EA	2008-08	2400
	HS ENP (Jeonju, Jeonbuk)	DFC3000	2008-10	2400
	Natura Power (Gunsan, Jeonbuk)	DFC15500MA, 2EA	2008-09	2400
	Jungbu Power Generation (Boryung, Chungman)	DFC300MA	2008-09	300
	SH Construction (Ilsan, Gyeonggi)	DFC300MA	2009-05	2400
	MPC Yuichon (Yeosu, Jeonnam)	DFC300MA 2EA	2009-09	4800
	GS EPS (Dangjim, Chungnam)	DFC3000MA	2009-09	2400
	Dongseo Power Generation (Ilsan, Gyeonggi)	DFC3000MA	2009-09	2400
	POSCO Power (Incheong, Gyeonggi)	DFC3000MA	2009-10	2400
	Byeoksan construction (Wastewater treatment facility, Busan)	DFC1500	2010-02	1200

Sammantaget satsas det mycket pengar på MCFC-forskning och -utveckling i Korea. POSCO Power lägger mycket pengar på aktiv forskning samtidigt som man investerar i och expanderar sina tillverkningsenheter. Man tror mycket på ett utökat marknadssegment genom ökad medvetenhet hos allmänheten. För detta ändamål har man skapat "POSCO fuel cell gallery", världens hittills enda PR-hall för MCFC som öppnade i september 2008. Den drygt 300 m² stora PR-hallen ligger intill BoP-fabriken i Pohang och är indelad i en affärsdel och en teknikdel. I den senare kan man lära sig om MCFC-tekniken och dess tillämpningar. Utanför hallen kan man beskåda den 2,4 MW-anläggning som är i drift i Pohang.



Fig. 9. Vy över POSCO Powers faciliteter i Pohang.
[www.poscofuelcell.com]

2.5 CRIEPI

Med början under 80-talet har stora nationella satsningar gjorts i Japan på MCFC-teknologin. Emellertid slutade det sista stora nationella programmet i och med 2004 års utgång. Sedan dess har dock CRIEPI (Central Research Institute of Electric Power Industry) fortsatt studera teknologin. Man arbetar experimentellt med en cell med 110 cm² elektrodarea och under tryck (0,6 MPa). Man studerar bl.a. degradering i cellen, inverkan av olika föroreningar och effekter av överbelastning av cellen. CRIEPI har inte syns till så mycket under 2009 och endast en MCFC-relaterad artikel verkar ha kommit ut från gruppen detta år. CRIEPI kan dock fortfarande stoltsera med världsrekord, när det gäller lång driftstid. En labcell med 110 m² elektrodarea arbetande vid trycket 3 bar och med en temperatur på 600°C har varit i drift i ca 67 000 h.

2.6 Tubitak Marmara Research Centre

Marmara Research Centre (MRC), Turkiet, är det äldsta och största forskningscentret under TUBITAK (the Scientific and Technological Research Council of Turkey). Sedan några år genomför MRC ett demonstrationsprojekt i vilket ett 500 kW MCFC-system avsett för marina tillämpningar testas. Bränslecellsstackarna till systemet levereras av Ansaldo Fuel Cells, med vilka man har bildat ett konsortium. Projektet syftar till att demonstrera en s.k. MCFC-NG (Naval Generator) som drivs med marint diesel med en svavelhalt på max 0,2 %. Demonstrationsanläggningen är landbaserad, men efterliknar förhållanden till sjöss (tex utrymmeskrav, vibrationer och salthalt). Erfarenheter från detta projekt kommer väl till pass då Tubitak, liksom Ansaldo, är partner i det EU-finansierade projektet MC-WAP, i vilket målet är en APU (Auxiliary Power Unit) för marina applikationer körd på marint diesel.

3 Teknikbevakning under 2009

Under året har vi deltagit i några konferenser där bidrag om MCFC funnits med: "International Symposium on Diagnostic Tools for Fuel Cell Technologies" i Trondheim i juni, "International Workshop on the Effects of Fuel and Air Quality to the Performance of Fuel Cells" i Berlin i september, "216th meeting of the Electrochemical Society" i Wien i oktober, samt "Fuel Cell seminar" i november i USA (intryck därifrån presenteras i egen rapport).

På konferensen i Trondheim, 23-24 juni, 2009, var det endast två presentationer om MCFC. Roberto Lo Presti, ENEA, Italien, presenterade data från deras studie med H₂S-förorening i bränslet. Cellen i studien är en 100 cm² stor cell (55 cm² aktiv area) med cross-flow och atmosfärstryck som för dessa mätningar körts i 2000 h. Redan vid 1 ppm svavel i bränslet ser man en märkbar påverkan på cellprestanda. H₂S interagerar med såväl elektrolyten som med anoden. I studien undersöker man avklingningen i potential efter brytning av strömmen i tre olika tidsskalor, 4 ms, 400 ms och 11 s. Man har sett att avklingningen efter 4 och 400 ms är oberoende av bränsleutnyttjande, medan den längre tidsskalan 11 s helt klart är beroende av utnyttjande av bränslet. Studien omfattar förorening med både 1 och 2 ppm H₂S. Tillsatsen av H₂S ger tydliga förluster när det gäller cellpotential och man tolkar detta som Nernstska förluster.

Eirik Ovrum (DNV, Det Norske Veritas) presenterade deras arbete i projektet FellowShip (se ovan). De arbetar med en HotModule på 320 kW_{el} från MTU Onsite Energy som skall matas med LNG-bränsle (liquefied natural gas). DNVs bidrag till projektet är hur man skall lösa riskerna med att hantera en bränslecell ombord på ett fartyg. Den största riskfaktorn i det sammanhänget anses vara brand. DNV skriver nya regler åt skeppsägarna och hjälper bränslecellstillverkarna att utforma cellerna för marina förhållanden. De nya reglerna syftar till att öka säkerheten och tillförlitligheten vid bränslecellsinstallationer ombord. Förutom DNV och MTU Onsite Energy medverkar Eidesvik (ägare av fartyget) och Wärtsilä i projektet.

På konferensen i Wien var det enda MCFC-bidraget, som skulle handlat om elektrodkinetik på MCFC-katoden och presenterats av MTU Onsite Energy, tyvärr inställt.

Workshopen i Berlin handlade om hur kvaliteten och föroreningar i bränsle och luft påverkar prestanda för olika typer av bränsleceller. Stephen McPhail, ENEA, Italien, presenterade resultat från experimentella studier av effekten av svavelföroreningar på MCFC cellprestanda. H₂S bildas i rötningsprocessen vid biogasframställning, och har en negativ effekt på både anoden och elektrolyten. De negativa effekterna blir framförallt synliga i form av lägre cellspänningar vid lite högre strömtätheter. Deaktiveringens storlek beror av svavelhalten i anodgasen, men även av vätgas- och vattenhalter. De fortsätter nu med att undersöka var gränsen går för att reversibelt kunna återhämta prestanda, samt effekter av halider och siloxaner.

4 Viktiga händelser under 2009

- Fuel Cell Energy är fortfarande världsledande på utveckling och produktion. Idag har man installerat system på mer än 55 platser i världen och totalt har deras anläggningar producerat drygt 400 GWh elektrisk energi.
- Korea är nu den överlägset största användaren av smältkarbonatbränsleceller. Totalt har man köpt in/installerat 68 MW.
- Ny licens har tecknats för POSCO Power med FCE. I ett tidigare avtal köpte POSCO Power hela stackar från FCE för att montera in i sina system. Med den nya licensen kan man även bygga sina egna stackar med komponenter från FCE.
- Avtalet mellan FCE och MTU Onsite Energy, som innebar att FCEs stackar satt i Hot Module, upphör vid årsskiftet 2009/2010. I fortsättningen kommer MTU att tillverka hela sitt bränslecellssystem själva.
- Det första fartyget med MCFC ombord är i drift. Off-shorefartyget Viking Lady har fått en Hot Module på 320 kW_{el} installerad ombord. Bränslet kommer att vara LNG som hämtas vid oljeriggarna. Installationen av bränslecellssystemet innebär bl.a. utsläppsfria hamnvistelser och därmed lägre hamnavgifter.
- Flera företag studerar MCFC kombinerat med koldioxidavskiljning, det enda sättet att samtidigt med CO₂-avskiljningen producera elektrisk energi. Denna teknik har för Ansaldo Fuel Cells helt hamnat i fokus under 2009.
- Världens första PR-center för MCFC i Korea. Detta informationscenter finns intill POSCO Powers tillverkning av MCFC i Pohang, Korea. Där kan man också få titta på ett av de MCFC-system som Korea har i drift.

5 Framtida utveckling

MCFC-tekniken har utvecklats under lång tid och en mängd system har varit i drift länge. Idag finns bränslecellssystem som varit i drift i drygt 47 000 h. I detta system fick man visserligen byta ut stacken efter 24 000 h, men inget talar för att målet att uppnå 40 000 h livstid för stacken inte skall kunna nås. CRIEPI i Japan har haft en större labcell (110 cm²) i drift i närmare 70 000 h.

Flera av företagen har under det gångna året utvecklat och installerat nya MCFC-system för en rad olika tillämpningar. Den stora bränsleflexibiliteten gör att många har hamnat i tillämpningar mot olika typer av biogas (rötgas, deponigas, förgasad biomassa). System för samtidig produktion av värme och/eller kyla är också vanliga.

Flera av företagen gör stora investeringar för att under kommande år utöka sin produktionskapacitet. Särskilt aggressiv satsning görs i Syd-Korea där man lägger stora resurser på att öka användningen av bränsleceller generellt i samhället, samt att utöka den inhemska bränslecellsproduktionen.

Forskning och utveckling sker i första hand på företagen som är verksamma inom området. Den forskning som bedrivs idag syftar främst till att begränsa de olika cellkomponenternas degradering, framförallt verkar föroreningars betydelse för prestanda och degradering ha kommit i fokus. Detta beror i mångt och mycket på den breda användningen av MCFC-systemen i tillämpningar med t ex rötgaser och deponigaser.

Sammanfattningsvis kan sägas att ett fortsatt stort intresse finns för användning av MCFC där möjliga bränslen redan finns tillgängliga (deponier, livsmedelsproduktion, rötningsanläggningar etc). Detta gör ju också att MCFC passar utmärkt för svenska förhållanden då vi har tillgång till många olika förnybara bränslen.