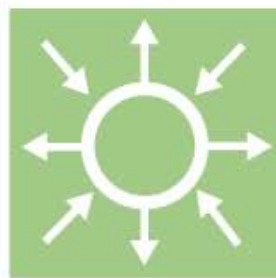


Teknikbevakning av fosforsyrabränsleceller (PAFC) 2009

Elforsk rapport 10:13



Lars Avellán

Februari 2010

Teknikbevakning av fosforsyrabränsleceller (PAFC) 2009

Elforsk rapport 10:13

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 februari 2010

Bertil Wahlund

Programområde El- och värmeproduktion

Sammanfattning

Bränsleceller möjliggör en effektiv omvandling av bränsle till el och värme med låga emissioner. Används vätgas som bränsle avges enbart vatten.

För större stationära system används oftast naturgas eller biogas som bränsle för bränslecellerna. Detta kräver oftast någon form av förbehandling av bränslet, t.ex. reformering till en vätgasrik gasblandning. För små stationära anläggningar används också vätgas eller metanol som bränsle.

Det finns många typer av bränsleceller. De främsta är:

- Polymer Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC
- Direct Methanol Fuel Cell, DMFC
- Alkaline Fuel Cell, AFC
- Phosphor Acid Fuel Cell, PAFC
- Solid Oxide Fuel Cell, SOFC
- Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC

Under en lång tidsperiod var PAFC-tekniken den ledande bränslecellstekniken. Utvecklingen av tekniken var intensiv under 70-, 80- och 90-talen. På senare år har såväl utveckling som försäljning av PAFC avtagit till förmån för andra tekniker. Rapporten ger underlag för en egen bedömning av om detta är klokt eller inte.

Jämfört med den främsta konkurrenttekniken MCFC är PAFC:

- Obetydligt dyrare
- Har några procents lägre verkningsgrad
- Är ungefär lika skrymmande
- Har längre livslängd och lägre avskrivningskostnad
- Är tillförlitligare och mer beprövat

PAFC och MCFC är en mer mogna tekniker än SOFC, men den senare kan ha framtidspotential.

För de flesta applikationer finns det bättre bränslecellstekniker att välja än PAFC. Då PAFC dock har den bästa livslängden och tillförlitligheten, så finns det ett antal applikationer där tekniken kan vara ett klokt val t.ex:

- Backup-energi för t.ex. sjukhus eller datacentraler
- Tillvaratagande av biogas, som av användaren betraktas som gratis
- Kraftvärmeproduktion i fartyg

Summary

Fuel Cells can efficiently convert fuels to electricity and heat with low emissions. When hydrogen is used as fuel will the exhaust just be water.

Natural gas or bio gas is usually used as fuel for large stationary fuel cells. Usually is some kind of pre-treatment of the fuel needed as reforming to a hydrogen rich gas mixture. For smaller fuel cells is hydrogen and methanol also frequent used.

There are many different fuel cell technologies. The most common ones are:

- Polymer Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC
- Direct Methanol Fuel Cell, DMFC
- Alkaline Fuel Cell, AFC
- Phosphor Acid Fuel Cell, PAFC
- Solid Oxide Fuel Cell, SOFC
- Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC

During a long period of time the PAFC technology was the leading fuel cell technology. During the 70th, 80th and 90th the development progress was intensive. More lately the development and sale of PAFC has slow down and focus has moved to other fuel cell technologies. This report gives the background to your own judgment if this change of focus is wise or not.

Compared to the main competing technology MCFC, will PAFC:

- Be slightly more costly
- Have a few percent lower efficiency
- Have about the same physical size
- Be more durable and have a lower pay off cost
- Be more reliable.

PAFC and MCFC are more mature technologies than SOFC, but SOFC looks promising.

For most applications there are better fuel technologies than PAFC. However, as PAFC has the best durability and reliability are there a few applications where PAFC could be the best choice, as:

- Backup energy for hospitals and computer centers
- Use with bio gas, if the gas is regarded as free waste without charge.
- Combined Heat and Power, CHP, in ships.

Innehåll

1	Allmänt om bränsleceller	1
2	Historisk utveckling av PAFC	2
3	PAFC jämfört med andra typer av bränsleceller	4
4	Jämförelsetest mellan PAFC, MCFC och PEMFC	8
5	PAFC jämfört med andra typer av energiomvandlare	11
6	Leverantörer av PAFC system	12
6.1	Fuji Electric Company	12
6.2	Hydrogen Corporation.....	15
6.3	UTC Power	15
7	Diskussion om PAFC teknikens möjligheter	17

1 Allmänt om bränsleceller

Bränsleceller möjliggör en effektiv omvandling av bränsle till el och värme med låga emissioner. Används vätgas som bränsle avges enbart vatten.

Den centrala delen av ett bränslecellssystem, själva stacken innehåller inga rörliga delar, vilket dock det kompletta bränslecellssystemet gör, då stacken måste försörjas med luft och bränsle samt kylas.

För större stationära system används oftast naturgas eller biogas som bränsle för bränslecellerna. Detta kräver oftast någon form av förbehandling av bränslet, t.ex. reformering till en vätgasrik gasblandning och efterföljande rening av för bränslecellen farliga föroreningar. Ett komplett bränslecellssystem med reformer och bränslecell som matas med ett bränsle som innehåller kol, t.ex. naturgas, släpper ut avgaser såsom CO_2 , kolväten och NO_x . Systemen blir dock oftast betydligt renare än motsvarande energiomvandlare med förbränningsmotorteknik.

2 Historisk utveckling av PAFC

Det finns många typer av bränsleceller. De främsta benämns PEMFC, DMFC, AFC, PAFC, SOFC och MCFC.

AFC har använts i rymdfarkoster för generering av el och vatten. Tekniken är därför historiskt viktig. Det finns fortfarande kommersiella alkaliska bränsleceller, men tekniken har ett mycket litet marknadsutrymme.

Under en lång tidsperiod var PAFC-tekniken den ledande bränslecellstekniken. Utvecklingen av tekniken var intensiv under 70-, 80- och 90-talen. Ett flertal företag försökte utveckla tekniken, främst UTC (tidigare ONSI), Westinghouse, Fuji, Toshiba, Mitsubishi och Ansaldo. UTC var först ut på marknaden med en kommersiell beta-produkt 1992. Med beta-produkt menas här en produkt med barnsjukdommar och utan tillräckliga garantier. Idag finns bara UTC och Fuji kvar. Under flera år från 1992 var PAFC den enda bränslecellstekniken som var kommersiellt tillgänglig på den civila marknaden.

Systemet från 1992 togs fram av företaget ONSI som sedermera har övergått till UTC. Systemet hade beteckningen PC25 och levererade nominellt 200 kW eleffekt. Idag är UTC utan jämförelse marknadsledande på PAFC-system med flera hundra system levererade, vilket är 10 gånger mer än marknadstvåan Fuji. Fortfarande har UTC ett 200 kW system i produktion. Första generation PC25A vägde 31 ton och hade volymen 80 m³. År 2002, 10 år från marknadsintroduktionen, fanns 245 system i drift. Livslängderna översteg normalt 40.000 timmar, ett värde som förutom PAFC endast MCFC-system kan konkurrera med idag. 2004 hade totalt 500 system installerats.

Utvecklingen har lett till ökade verkningsgrader, längre livslängd, högre driftsäkerhet, kompaktare mått och lägre kostnader. På alla områden utom livslängd och driftsäkerhet har tekniken blivit omkörd av andra bränslecellstekniker.

Tekniken har främst använts för stationär kraftgenerering, ofta som kraftvärme där både el och värme tillvaratas. Tekniken har dock provats i ett flertal applikationer mellan 40 kW och 11 MW. Andra applikationer är backup-energi till bland annat sjukhus och bussdrift med metanol som drivmedel.

I Sverige har PAFC-tekniken testats och utvärderats av Vattenfall och Sydkraft under perioden 1991 – 1995. Ytterligare ett system köptes 1997. Detta var således i en mycket tidig utvecklingsfas av kommersiella PAFC-system. Efter utvärderingen gjordes bedömningen att PAFC-system inte skulle bli ekonomiskt konkurrenskraftig annat än i vissa applikationer och man fokuserade nationellt på andra bränslecellstekniker.

Tabellerna nedan summerar resultaten från 1991-95.

	Sydkraft AB Fuji 50 kWe	Sydkraft AB ONSI 200 kWe	Vattenfall AB Fuji 50 kWe
Levererad	Nov. 1991	Maj 1992	Jan. 1993
I drift,	Dec. 1991	Juni 1992	Febr. 1993
elnätsansluten			
Lokalisering	Åstorp, Skåne	Bara, Skåne	Varberg, Halland
	Inomhus installation	Utomhus	Inomhus
Anslutningar	Elnätsansluten	Elnätsansluten	Elnätsansluten
Kapacitet (nom.)	Värmeutnyttjning	Värmeutnyttjning	Värmeutnyttjning
El och Värme	50 kWe 50 kWv	200 kWe 200 kWv	50 kWe 50 kWv

	Enhet	Sydkraft AB ONSI 200 kWe	Sydkraft AB Fuji 50 kWe	Vattenfall AB Fuji 50 kWe
Testperiod		920610-950512	911129-940415	930203-950117
Nominell eleffekt (vid 200 V)	kW	200	50	50
Driftstart, nätansluten		920610	911129	930202
Ackumulerad elproduktion	MWh	3350	248	222
Ackumulerad värmeproduktion	MWh	2389	316	262
		(nyttig värme)		
<i>Längsta period med kontinuerlig drift</i>	<i>timmar</i>	<i>4730</i>	<i>4115</i>	<i>1680</i>
Drifttid med ellast	timmar	19131	7639	5483
Tillgänglighet	%	75	36	32
Elverkningsgrad (netto)	%	37,7	37,0	36,4
			(ny stack)	
Totalverkningsgrad (prod. el+värme)/naturgasförbr.)	%	64,5	72,0	79,3
		(nyttig värme)		
Antal automatiska driftstopp		13	25	6
Antal manuella driftstopp		7	8	10

Elforsk programbeskrivning Stationära Bränsleceller 2002-2005

Tekniskt, så har platinabehovet minskat och arbetstemperaturerna ökat från 100°C till 200°C. Högre arbetstemperatur medger enklare katalysator och minskar känsligheten för CO i bränslet, vilket kan kontaminera platina och därmed degradera bränslecellens prestanda. Högre arbetstemperatur försämrar dock den korrosiva miljön i cellen, varför det är en balansgång.

En historiskt viktig händelse är att US-Department of Energy, US-DOE, 1993 bedömde att PAFC-tekniken nu hade nått sin marknadsmognad och drog in stödet till kommersialiseringen. Tekniskt fanns det ett visst fog för den uppfattningen, även om tekniken fortfarande inte var tillräckligt robust, men tekniken var fortfarande minst fem gånger för dyr för marknaden. Westinghouse, som då hade lagt ner stora pengar på utvecklingen lade då ner sin utveckling och sålde rättigheterna till andra aktörer, som mer förvaltade än utvecklade tekniken.

3 PAFC jämfört med andra typer av bränsleceller

De bränslecellstekniker som är relevanta att jämföra med PAFC är främst:

- Solid Oxid Fuel Cell, SOFC
- Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC
- Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC

Här fokuserar vi på de två senare med motiveringen att SOFC inte har en marknadsmognad, som kan jämföras med de tre andra teknikerna.

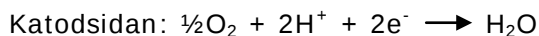
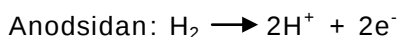
En översikt av teknikerna ges i tabellen nedan:

	Relativ effekttäthet	Arbetstemperatur °C	Starttid utan förvärmning
PEMFC	2,5	55 – 90 HTPEMFC 110- 180	Sekunder/enstaka minuter
PAFC	1	200 - 220	Timmar
MCFC	1	650 - 800	Timmar
SOFC	1,5	350 - 1000	Timmar

Den höga effekttätheten och den korta starttiden gör PEMFC till det självklara valet för mobila tillämpningar, medan de andra teknikerna konkurrerar om stationära tillämpningar. Undantag från denna tumregel förekommer. Främst så finns det ett ökat intresse för lågtemperatur-SOFC för tyngre mobil elektronik.

Tekniskt finns det mycket stora likheter mellan PEMFC och PAFC, medan det applikationsmässigt finns stora likheter mellan MCFC och PAFC.

PEMFC och PAFC fungerar enligt samma grundprinciper. Bägge använder separatorplattor som leder ström och har spår för gaserna, platinabelagda kolelektroder och en syra som elektrolyt. De kemiska formlerna är gemensamma:



För bägge teknikerna har den erforderliga mängden platina per cm^2 utvecklats dramatiskt och ständigt legat på snarlika värden. Då PAFC-tekniken bara ger

halva energiutbytet per cm^2 , så går det åt dubbelt så mycket platina per kW eleffekt.

Skillnaderna mellan teknikerna ligger främst i elektrolyten. Bägge elektrolyterna är syror, men PEMFC utnyttjar en fast polymer, som är beroende av att hålla en lagom fuktighet, medan PAFC utnyttjar fosforsyra H_3PO_4 .

Tack vare den högre arbetstemperaturen 200-220°C hos PAFC, så blir känsligheten för föroreningar i reformatet lägre. T.ex. tål PAFC cirka 1 % CO , medan PEMFC endast tål 10 ppm. Högtemperaturbränslecellteknikerna är därför generellt mer lämpliga när andra bränslen än mycket ren vätgas skall användas.

Den högre temperaturen hos PAFC skapar en mer korrosiv miljö internt i bränslecellen, varför inte metalliska, utan enbart kolplattor kan användas som separatorer. PAFC är även beroende av en porös reservoar för extra fosforsyra.

Likheter mellan högtemperatur PEMFC, HTPEMFC, och PAFC är ännu större. Några varianter av HTPEMFC dopar ett polymermembran med fosforsyra och kan därför betraktas som PAFC.

Applikationsmässig bör konkurrensytan mellan PEMFC och PAFC vara liten enligt:

Stationär applikation med kolväte bränsle → PAFC

Mobil applikation med vätgas → PEMFC

Däremot finns det en tydlig konkurrens mellan MCFC och PAFC där pris, prestanda, tillförlitlighet och livslängd är avgörande.

År 2004 fördelade sig marknadsandelarna för bränslecellssystem för stationärt bruk (Antal system. PEMFC system är oftast på lägre effekt) enligt:

PAFC 40%

MCFC 23%

PEMFC <20%

PAFC var således långt in på 2000-talet den dominerande tekniken av de tre.

Verkningsgraderna från bio- eller naturgas

Teknik	Dagens system		Uppskattad teknikgräns	
	η_{el} %	η_{total} %	η_{el} %	η_{total} %
PAFC	36 - 42	65 - 90	42	
MCFC	45 - 50	85	60	

Sammanställning från flera källor

Elverkningsgraden från ett PAFC-system är och förväntas förbli lägre än för motsvarande MCFC-system. I kraftvärmesystem där hela värmeproduktionen kan utnyttjas behöver inte ett PAFC-system ha lägre verkningsgrad än ett MCFC-system.

Livslängder från bio- eller naturgas

Teknik	Dagens system	Målvärden
	Drifttimmar	Drifttimmar
PAFC	40.000 – 80.000	80.000
MCFC	30.000 – 40.000	40.000
PEMFC I stationär drift	5.000 – 15.000	

Sammanställning från flera källor

PAFC-system är inte bara betydligt mer långlivade än MCFC-system, driftsäkerheten är också högre. PAFC är den enda bränslecellsteknik, som har nått en sådan mognad att det öppet talas om Mean Time Between Failure, MTBF, något man förväntar sig kunna finna hos mogen teknik för business to business produkter. Värden runt 1.800 timmar har presenterats för MTBF för PAFC. PEMFC-tekniken passar inte in i applikationer med stora krav på lång livslängd.

PAFC är alltså en jämfört med övriga bränslecellstekniker driftsäker teknik. Detta gäller för stationär drift. De flesta bränslecellstekniker inklusive PAFC är känsliga för belastningsvariationer och lämpar sig inte för att ensamma (utan hybridisering med t.ex. batteri) klara lastföljande drift med transienta förlopp. I likhet med PEMFC är tekniken heller inte lämpad för att långvarigt gå med låg dellast (t.ex. under 30 % av fullast). Tidiga generationer av PAFC hade problem med att elektrolyten kunde frysa under avstängningsfasen.

Uppstartningstiden för PAFC från kallt tillstånd är 4-5 timmar. Förvärmning kan minska tiden.

Priserna i 2006 års prisnivå visas i tabellen nedan

Teknik	Dagens system	Målvärden
	US\$/kW	US\$/kW
PAFC	4.200	1.500
MCFC	3.200 – 3.500	
PEMFC	2.600	30 + Reformer
SOFC		SECA: 400

Källa för PAFC och MAFC: Stationary Fuel Cells: An overview, Kerry – Ann Adamson 2007.

Priser och kostnader är olika saker. Så länge som de allra flesta bränslecells-tillverkare går med förlust, så representerar priset inte kostnaden utan vad tillverkaren förväntar sig kunna få ut på marknaden.

John B. O'Sullivan uppskattade vid Fuel Cell Seminar 2006 att genombrottspriset ligger vid 1.500 – 2.500 \$/kW. I programmet Solid Energy Conversion Alliance, SECA, uppskattas genombrottspriset till 400 \$/kW. Då de olika teknikerna brottas med ansemliga utvecklingskostnader och har blygsamma produktionsvolymen, så kan dagens kostnader sänkas rejält.

4 Jämförelsetest mellan PAFC, MCFC och PEMFC

U.S Environmental Protection Agency (EPA) har gjort jämförande tester av några bränslecellstekniker som finns tillgängliga som kommersiella produkter inom sitt program Environmental technology Verification (ETV). De testade systemen är:

Teknik	Tillverkare	Modell	Eleffekt kW	Verifierat år
PEMFC	Plug Power	SU1	5	2003
PAFC	UTC	PC25C	200	2004
MCFC	FuelCell Energy	DFC 300A	250	2007

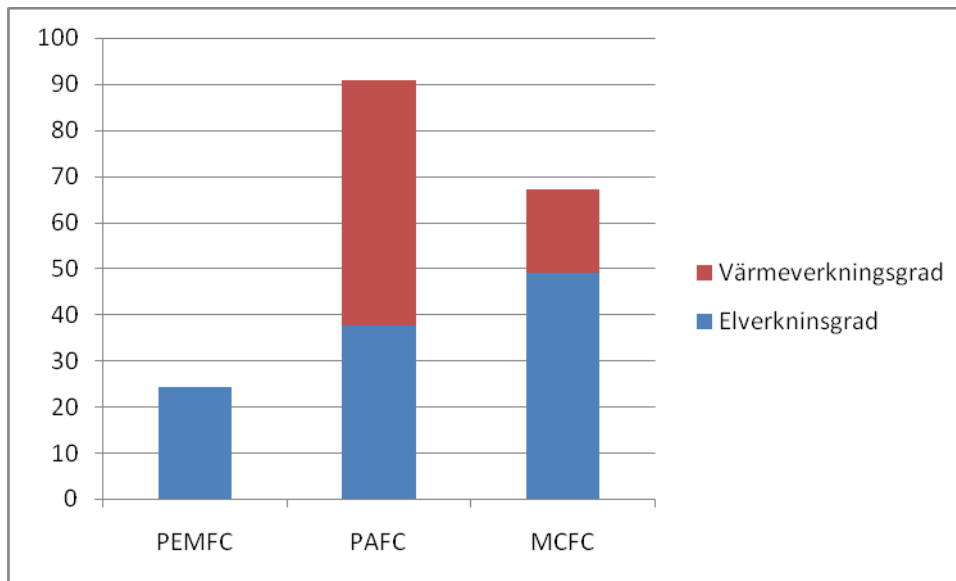
Vid denna typ av jämförelse är det viktigt att komma ihåg att:

- Resultaten visar inte bara teknikens potential och status utan även de enskilda tillverkarnas skicklighet.
- Alla tre teknikerna har utvecklats väsentligt mellan 2003 och 2007, varför året för respektive prov påverkar resultaten.

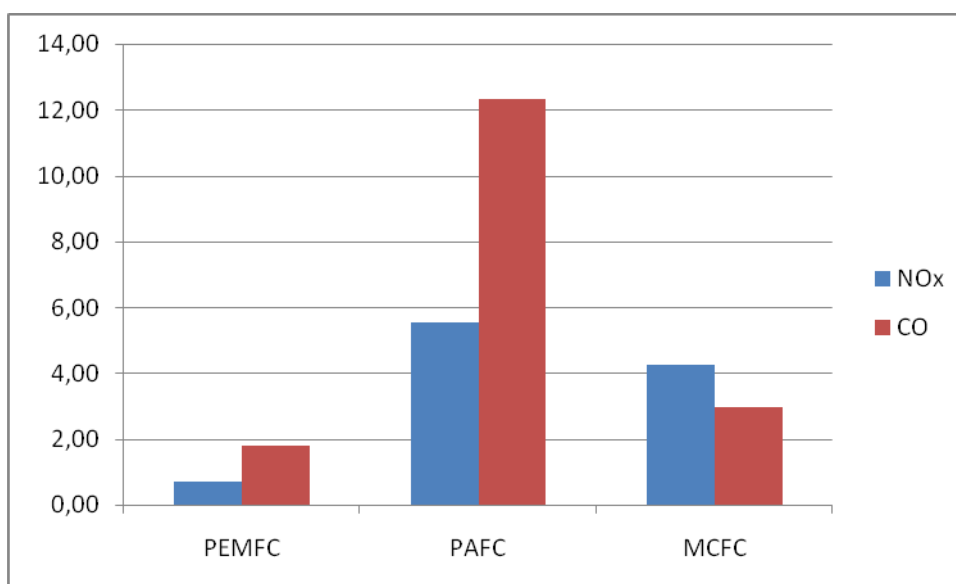
Ytterligare systemskillnader, som försvårar en direkt jämförelse är att PEMFC och MCFC systemen matades med naturgas, medan PAFC systemet matades med biogas.

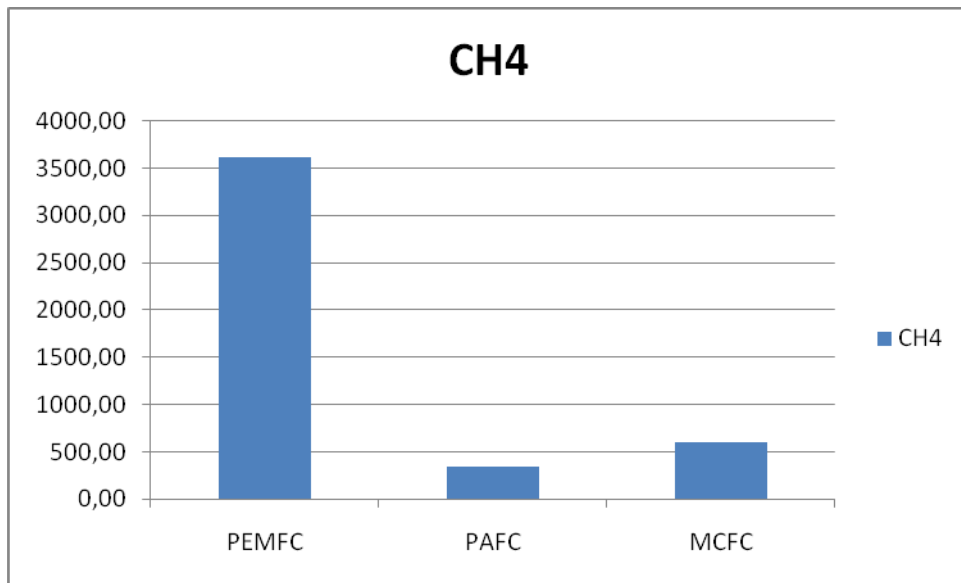
Diagrammet nedan visar uppmätta verkningsgrader. Värmeverkningsgraderna framgår dock dåligt från testerna. I ingetdera fallet har man lyckats hitta en applikation där värme- och elbehovet har matchat varandra i proportion till kraftvärmeaggregatets el-värmebalans. För PEMFC systemet har man angivit orimliga värmedata (Troligen sortförvandlingsfel). För MCFC systemet har man bara räknat in den värme som man faktiskt kunde utnyttja. För PAFC systemet har man inkluderat den värmeenergi som potentiellt hade kunnat utnyttjats om värmebehovet funnits.

Observera att detta är system som inkluderar reformer. Verkningsgraderna för vätgasmatade system blir betydligt högre.



Systemens avgasvärden i gram/MWh visas i diagrammen nedan





Utsläppsskillnaderna beror säkerligen mer på reformerteknikernas än på bränslecellsteknikerna.

5 PAFC jämfört med andra typer av energiomvandlare

Kostnaden på 3.000 – 4.000 \$/kW för ett PAFC-system skall vägas mot att en gasturbin kostar 500 – 700 \$/kW. Gasturbinen torde vara såväl driftsäkrare som mer långlivad. Skillnaden måste kunna motiveras av faktorer som:

- Framtidstro för bränslecellstekniken
- Verkningsgrader
- Utsläpp

Att kostnaderna för bränslecellssystem kan sänkas rejält om full volymproduktion kommer igång är uppenbart.

Grundat på jämförande tester inom programmet ETV (Se föregående avsnitt) kan verkningsgraderna jämföras i tabellen nedan. Uppgifterna bygger på mätningar 2003-2004. Mikrogasturbinen är en Capstone 60 på 60 kW som drivs med naturgas:

Teknik	η_{el} %	$H_{värme}$ %	η_{total} %
PAFC	37,5	53,4	90,9
Mikro Gasturbin	28,4	52,2	78,4

PAFC-tekniken vinner således klart.

Från samma tester kan de specifika avgasvärdena (gram/MWh) jämföras. Jämfört med PAFC ger mikroturbinen:

- 12 gånger högre NO_x utsläpp
- 3½ gånger så höga CO utsläpp
- 1/50 del så stora metangasutsläpp

6 Leverantörer av PAFC system

På 90-talet fanns det ett flertal företag som utvecklade PAFC-tekniken, varav kan nämnas:

- Fuji Electric Company, Japan
- Hydrogen Corporation, USA
- Mitsubishi Corporation, Japan
- Toshiba Fuel Cells Power Systems Corporation, Japan
- UTC Power, USA
- Ansaldo, Italien

Idag är det bara UTC och Fuji som har verksamhet av betydelse inom området. UTC har sålt några hundra PAFC-system medan Fuji levererat några tiotal. Historien bakom Hydrogen Corporation har historiskt värde och företaget kan fortfarande tänkas rekonstrueras, varför det även beskrivs nedan.

Uppgifterna i detta kapitel kommer huvudsakligen från respektive tillverkare och kan därför vara partisk.

6.1 Fuji Electric Company

Fuji Electric började utveckla bränsleceller 1973 och PAFC 1982. 1998 levererade de sitt första PAFC system. Befintliga modeller är helt inriktade på CHP. Systemen är på 100 kW elektrisk effekt. Elverkningsgraden anges till 42 %. 2008 hade 25 system levererats. Systemen har beteckningarna FP-100X, där X står för utvecklingsgenerationen. Nuvarande kommersiella version har beteckningen H och skiljer sig från föregående version främst genom att den är designad för 60.000 drifttimmar mot tidigare 40.000 drifttimmar. 2001 lanserades ett lågprissystem med kortare livslängd. Undantar man det systemet, så har inget system tagits ur bruk före 40.000 driftstimmar och ett system är fortfarande i drift efter 77.000 timmar.



FP-100H

Kommande generation "I" skall:

- Bli billigare genom massproduktionsteknik.
- Få mindre mått
- Klara lägre temperaturer (-20°C) och förbättrad stöttålighet
- Anpassas för flera applikationer. De applikationer Fuji arbetar med är:
 - × kombinerad CHP och vätgasproduktion (99,99% renhet och högt tryck) för initiala fasen av bränslecellsbilar.
 - × Reservkraft för bland annat sjukhus
 - × Tillvaratagande av vätgas som spillprodukt

I-modellen avses lanseras i höst (2009).

Nuvarande generation klarar att drivas med såväl natur- som biogas.

Tekniska data framgår av tabellen nedan

Rated output power	100kW AC
Output voltage and frequency	210V [50/60Hz], 220V [60Hz]
Electrical efficiency	42% [LHV] (at the generating end)
Thermal Output	1) High Temperature Recovery Type 50kW (91 degrees C at outlet /85 degrees C at inlet)
	2) Middle Temperature Recovery Type 85kW(62 degrees C at outlet /50 degrees C at inlet)
Exhaust gas	NOx : less than 5ppm [O ₂ 0%] SOx,dust : less than the detection limit
Consumption of gas	City gas : 22m ³ /h(Normal) Digester gas : 45m ³ /h(Normal)
Operating system	Fully Automated / grid-connected
Volume W x L x H	2.2m (W) x 3.8m (L) x 2.9m (H)
Weight	10.5ton [City gas-fed type]

2008 hade Fuji levererat 25 system. 2005 presenterades nedanstående referenslista

	Used in	Date delivered	Fuel	Operating time (h)
1st commercial-type fuel cell	Hospital	August 1998	City gas	44,265
	Hotel	March 1999	City gas	56,637
	Commercial institution	March 1999	City gas	Operation ended
	University	April 2000	City gas	41,687
	Office	March 2001	City gas	38,230
	Office	March 2001	City gas	39,541
	Office	July 2000	City gas	42,666
	Office	July 2000	City gas	44,638
	Methane fermentation plant	January 2001	Biogas	Operation ended
2nd commercial-type fuel cell	Training institute	December 2001	City gas	30,311
	Sewer processing plant	March 2002	Biogas	29,780
	Sewer processing plant	March 2002	Biogas	30,080
	Hospital	July 2003	City gas	19,851
	College	October 2003	City gas	11,650
	Exhibition institution	November 2003	City gas	14,666
	Office	January 2004	City gas	13,296
	Hospital	March 2004	City gas	10,557

(October 19, 2005)

En nyare lista presenterades vid Fuel Cell Seminar 2008:

Typ	Använd i	Bränsle	Leverans datum	Drifftid timmar	Konstruk-tions-Livslängd timmar
2:a kommersiella modellen	Träningsändamål, institut	Stadsgas	Dec 01	54.000	40.000
	Avloppsreningsverk (2 system)	Biogas	Mars 02	55.000	
	Sjukhus	Stadsgas	Juli 03	45.000	
	Skola	Stadsgas	Okt 03	37.000	
	Mässanläggning	Stadsgas	Nov 03	40.000	
	Sjukhus	Stadsgas	Mars 04	35.000	
	Kontorsbyggnad		Jan 04	38.000	
	Mässanläggning		Mars 06	21.000	60.000
	Sjukhus		Mars 06	19.000	
	Sjukhus	Stadsgas	Mars 06	19.000	
	Kontorsbyggnad	Stadsgas	Aug 07	7.000	
	Avloppsreningsverk (4 system)	Biogas	Dec 06	16.000	
Ny modell	Träningsändamål, institut	Stadsgas	Dec 08	Under uppstart	
	Kontorsbyggnad	Stadsgas	Okt 08	Under	

				uppstart	
--	--	--	--	----------	--

6.2 Hydrogen Corporation

1982 - 1993 investerade Westinghouse och US-Department of Energy (US-DOE) tillsammans 150 milj \$ i utvecklingen av ett 400 kW PAFC-system. 1993 stoppade US-DOE sitt stöd till PAFC-tekniken med hänvisning till att tekniken var kommersiellt färdig. Westinghouse befann sig vid den tiden svår ekonomisk kris och sålde sina PAFC rättigheter till FuelCell Corporation of Amerika (FCA). 2001 överlät FCA rättigheterna till HydroGen LLC.

1 maj 2007 hade HydroGen LLC 75 anställda. Under perioden oktober 2008 – april 2009 var företaget inblandat i en konkurs- och rekonstruktionsprocess. I november 2008 togs aktien bort från Nasdaqsbörsen. I juli 2009 noterades ett mycket svagt livstecken från HydroGen LLC i form av ett allmänt remissvar på en utredning, men hemsidan har inte uppdaterats på något år (augusti 2009).

HydroGen LLC tillverkade PAFC system för drift från överskottsvätgas. Man hade alltså ingen egen reformer. Systemen var på 400 kW. Dessa grupperades ihop till moduler på 2 MW bestående av fem PAFC system vardera. Modulerna grupperas sedan ihop till effektområdet 6-30 MW som var HydroGens fokusområde.

6.3 UTC Power

UTC Power är ett helägt dotterbolag till United Technologies Corporation, UTC, som bildades 1958 och har ett flertal produktben och en mångmiljardomsättning.

UTC Power har genomgått några namn/ägarförändringar:

UTC bildade International Fuel Cells (IFC) i början av 80-talet. IFC bildade senare ett 50/50-bolag med ett japanskt företag. Det nya bolaget fick namnet ONSI. ONSIs uppgift var att vidareutveckla PAFC-systemet, medan IFC fortsatte utvecklingen av andra bränslecellstekniker. Numera drivs verksamheten av UTC Power enligt ovan.

UTC Power har en 40-årig bränslecellserfarenhet med början i militära applikationer.

Företaget var först med att kommersialisera PAFC system 1992. De system som såldes 1992 var att betrakta som beta produkter (Försäljning där kunden närmast tar på sig att vara fältprovare och inte får några garantier). Dessa system var även de första bränslecellssystemen, oberoende av teknik, som var kommersiellt tillgängliga på den civila marknaden. UTC har sålt några hundra system medan marknadstväan Fuji sålt några tiotal.

Detta tidiga system hade beteckningen P25 och kraftvärmesystem för naturgas med 200 kW nominell elektrisk effekt.

I dagens produktprogram finns två system:

- Pure Cell Modell 200 på 200 kWe som är en direkt vidareutveckling av den ursprungliga modellen och optimerad för samma applikation. Mer än 260 system har sålts.
- Pure Cell Modell 400 på 400 kWe och också avsedd för kraftvärme.

UTC säljer sina stationära bränsleceller enbart på USA-marknaden.

UTC Power tillverkar också mikroturbiner och geotermiska energisystem.

200 kW systemet kan köras på natur- eller biogas, medan 400 kW systemet ännu (8/2009) bara klarar naturgas. Systemens värmeproduktion är nominellt 900.000 respektive 1.700.000 Btu/hr = 264 respektive 500 kW. Ljudnivån är 65 dBA på 10 meters avstånd.

Fabrikanten ger tunt med tekniskt underlag men det tidigare systemet är mycket väldokumenterat från kundtester världen över, bland annat i Sverige (Se avsnittet historia)

UTC har sålt några hundra system. Nedanstående lista på referensanläggningar är exempel.

System	År	Beskrivning	Ort
PureCell 200	2008	Whole Foods Market CHP i matmarknad	Glastonbury, Connecticut
PureCell 200	2005	Verizon teletjänstbolag 7 CHP system. Arbetar parallellt med fasta elnätet	New York
PureCell 200	2007	Hilton Hotel Backupenergi CHP till el och varmvatten	New York
PureCell 200	2002	Mohegan Sun Resort and Casino. CHP. Total drifttid 2007 90.000 timmar.	Uncasville Connecticut
PureCell 200	1999	New York Police Station. CHP backupenergi Total drifttid 2007 70.000 timmar.	New York
PureMotion Model 120	2007	VanHool A330 Fuel Cell Bus	

7 Diskussion om PAFC teknikens möjligheter

Utveckling och försäljning av PAFC-system har avtagit och ersatts med satsningar på andra bränslecellstekniker, främst MCFC, SOFC och PEMFC. Är det då dags att helt sluta intressera sig för PAFC?

För den med begränsade resurser och som vill fokusera dessa på så få bränslecellstekniker som möjligt, så är det troligen ett klokt beslut att sluta ögonen för PAFC. Tekniken är dock överlägsen andra bränslecellstekniker vad avser livslängd, avskrivningskostnad och tillförlitlighet. Totalverkningsgraden om spillvärmes kan utnyttjas, ligger hack i häl med MCFC. Elverkningsgraden är möjlig, men svår att nå med förbränningsmotorbaserade system, samtidigt som buller och vissa avgasemissioner är lägre.

Nedan ges exempel på applikationer där PAFC kan vara ett klokt val:

- Backup-energisystem för t.ex. sjukhus. Uppstartningstiden för PAFC från kallt tillstånd är 4-5 timmar, vilket är för mycket för en backuplösning. I naturgasländer löser man detta genom att låta bränslecellen gå kontinuerligt parallellt med nätströmmen. Vid strömbrott kopplas oprioriterad last bort och bränslecellen får försörja den prioriterade lasten. I Sverige handlar det kanske snarare om ifall det finns en biogastillgång nära sjukhuset. En alternativ lösning är att hålla bränslecellen förvärmad och därigenom korta uppstartningstiden. Vi har försökt få data från såväl UTC som Fuji på hur mycket man kan korta uppvärmningstiden med förvärmning. Ingen av dem är beredda att lämna ut den informationen. Under uppstartningstiden måste batterier svara för strömförsörjningen. Låg delast är däremot ingen lösning, då PAFC liksom PEMFC degraderas i det driftfallet. Fördelen mot MCFC är bättre livslängd och högre tillförlitlighet. Fördelen mot dieselgenerator är lägre närmiljöpåverkan, främst buller.
- Tillvaratagande av biometan, som annars hade släppts ut i fria luften. Om energiråvaran betraktas som gratis i det specifika fallet, så saknar det betydelse om verkningsgraden är ett fåtal procent lägre än för MCFC. Lägre avskrivningskostnad gynnar ekonomin i systemet.
- För applikationer med krav på mer än 40.000 timmars drifttid. Två MCFC-system (för att klara drifttidskravet) blir tveklöst dyrare än ett PAFC-system. En sådan här applikation kan t.ex. vara en auxiliary Power Unit, APU, i ett fartyg eller en stor hamntruck.

Så länge som PAFC-tekniken har en unik ledarroll vad avser vissa egenskaper, så kommer det att finnas applikationer där den passar bättre än konkurrerande tekniker.