

Robusta och tillförlitliga bränsleceller



Joakim Nordlund (PhD), Cellkraft AB

Mars 2012

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för en var intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida www.sgc.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare:

Energigas Sverige, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

AGA Gas AB
Energimyndigheten

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

Sammanfattning

För att bränsleceller ska kunna komma ifråga för användning i tillämpningar där tillförlitligheten är kritisk krävs mycket god tillförlitlighet samt att data finns för att styrka detta. Fundamentala förutsättningar finns för att nå långt i fråga om tillförlitlighet för bränsleceller, men ingenjörsmässiga problem måste lösas för att nå teknikens fulla potential. Cellkraft har i flera år arbetat med denna frågeställning och detta projekt har varit en viktig pusselbit.

Projektet innehöll både omfattande försök på laboratoriet och långa verifierande försök i fältmiljö. Utvecklingsarbetet som utförts inom ramen för detta projekt har lagt en god grund för att Cellkraft ska uppnå sina egna, högt ställda, tekniska målsättningar avseende tillförlitlighet. Nedanstående projektmål uppfylldes i sin helhet i projektet:

- *bränslecellen startar med 100 % tillförlitlighet*
- *bränslecellen levererar nominell effekt inom 30 sekunder i 100 % av fallen*
- *bränslecellen när den uppnått nominell effekt fortsätter att leverera minst nominell effekt så länge lastbehov finns i 100 % av fallen*
- *ingen cell i bränslecellen avviker från medelspänningen med mer än 0,1 V vid full last*

Summary

For fuel cells to be a viable alternative for backup power in applications, where reliability is a critical factor, the reliability of fuel cells has to be high and documented. Based on intrinsic properties of fuel cells, it is safe to argue that it is possible to make them highly reliable, but to unleash the full reliability potential of fuel cells, some great engineering work has to be performed. Cellkraft has since many years been addressing this issue and this project is an important piece of this puzzle.

The project included both a large number of laboratory testing of fuel cells and long experiments in field environment to verify the results from the laboratory work. The development work performed within this project is a solid base for the continuous work to fulfil Cellkraft's own, tough, technical reliability targets. The project targets below were achieved within this project:

- *the fuel cell start with 100 % reliability*
- *the fuel cell provides nominal power within 30 seconds in 100 % of the cases*
- *the fuel cell keeps providing nominal power as long as there is a demand in 100 % of the cases*
- *no cell in the fuel cell deviates from the mean cell potential with more than 0,1 V at full power*

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Metodbeskrivning.....	4
2.1	Försök på laboratoriet.....	4
2.2	Fältförsök	4
3	Resultat.....	6
3.1	Laborativa försök	6
3.2	Fältförsök	6
3.2.1	Fältförsök 1	6
3.2.2	Fältförsök 2 – höga omgivningstemperaturer.....	8
4	Diskussion	11
4.1	Laborativa försök	11
4.2	Fältförsök	12
4.2.1	Fältförsök 1	12
4.2.2	Fältförsök 2	13
5	Slutsats	14
5.1.1	Övriga slutsatser	14
5.2	Vidare arbete	14
6	Referenser.....	15

1 Inledning

Cellkraft arbetar för att etablera bränslecellstekniken i verkliga tillämpningar. Cellkrafts analys är att tekniken har en karakteristik som gör den till en lämplig strömkälla i vissa nisch tillämpningar, t ex reservkraft och strömförsörjning av utrustningar på otillgängliga platser. En förutsättning är dock att systemen är robusta och tillförlitliga. Cellkraft arbetar med PEFC¹ bränsleceller, en bränslecellsteknik som har mycket goda förutsättningar att bli robust. PEFC-bränsleceller har fundamentala förutsättningar att nå långt i fråga om tillförlitlighet, men ingenjörsmässiga problem måste lösas för att nå teknikens fulla potential. Cellkrafts målsättning är att lösa de ingenjörsmässiga problemen för att kunna släppa lös bränslecellens goda potential för hög tillförlitlighet.

Idag finns två huvudsakliga tekniska lösningar för reservkraft. För mindre energilager används endast batterier och för större energilager används dieselgeneratorer. Dieselgeneratorerna är i sin tur kombinerade med batterier för att överbrygga tiden det tar att driftsätta dieselgeneratoren samt för att driva dieselgeneratorns startmotor. Största tillförlitlighetsproblemet för dieselgeneratorer är att startbatterierna inte räcker till för att starta generatoren. Denna felmod står för över 80 % av startfelen för generatorer^I. Hårda data vad gäller felfrekvens vid uppstart för dieselgeneratorer är inte lätta att hitta. För dieselgeneratorer vid kärnkraftverk gäller att cirka 1 % av alla dieselgeneratorer inte startar när de ska^{II}. Eftersom man vid kärnkraftverk rimligen valt dieselgeneratorer med högre tillförlitlighet än för de flesta andra tillämpningar kan man anta att felfrekvensen vid start är en bit högre i andra mer generella tillämpningar. Tillförlitligheten för batteribaserad reservkraft lider av det enkla faktum att batterier degraderar med tiden och måste bytas ut även om de handhas perfekt^{III}. Detta innebär att ekonomi alltid ställs mot tillförlitlighet givet att batteriers tillförlitlighet sjunker med tiden.

Målsättningen med Cellkrafts bränslecellsutveckling är att säkerställa full tillförlitlighet under bränslecellens förväntade livslängd samt att maximera den förväntade livslängden. Om detta mål uppnås kommer tillförlitligheten för bränsleceller att överstiga både batterier och förbränningsmotorbaserade kraftlösningar och därmed öppnas marknaden för de allra mest kritiska och minst priskänsliga tillämpningarna. Syftet med detta projekt var att utveckla bränslecellstekniken i den riktningen.

¹ PEFC = "polymer electrolyte fuel cell", dvs. bränslecell där elektrolyten är en jonledande polymer. För mer information kring bränsleceller i stort och polymerelektrolytbränsleceller hänvisas till Wikipedia och <http://www.fuelcells.org>.

Medlet att uppnå syftet var att med laborativt utvecklingsarbete i kombination med långtidsförsök i fältmiljö nå närmre Cellkrafts tekniska mål som kan sammanfattas som projektrubriken: - Robusta och tillförlitliga bränsleceller. Som bakgrund i projektansökan delgav Cellkraft sina tekniska mål för sin bränslecellutveckling:

”Målsättningen med Cellkrafts bränslecellsutveckling är att säkerställa full tillförlitlighet under bränslecellens förväntade livslängd samt att maximera den förväntade livslängden. Hårdvara och styralgoritmer skall vara valda och utformade så att:

- *bränslecellen alltid startar vid behov, även vid minusgrader²*
- *bränslecellen alltid levererar nominell effekt inom en rimligt kort tidsrymd*
- *bränslecellen, när den uppnått nominell effekt, fortsätter att göra det till lastbehovet försvinner eller tills livslängden uppnåtts*
- *samtliga celler i bränslecellen levererar jämn spänning över hela livslängden*
- *bränslecellen alltid klarar drift vid höga omgivningstemperaturer under tiotals timmar³ utan att degradera mätbart*
- *bränslecellen har en livslängd motsvarande minst 20.000 timmar vid lägsta driftstemperatur”*

Detta är alltså de tekniska mål som Cellkrafts hela bränslecellsutveckling syftar till med avseende på tillförlitlighet. Andra mål finns, t.ex. att göra bränslecellerna kompaktare, lättare, billigare etc., men det är viktigt att kompromisser med de tekniska målen endast görs när den aktuella tillämpningen tillåter det. Som exempel på det sistnämnda kan nämnas att det inte för alla applikationer är eftersträvningsvärt att nå 20.000 timmars livslängd, då ett system med kortare livslängd i vissa fall istället kan motiveras av andra fördelar som t.ex. lägre pris eller lägre vikt.

Som mål för det aktuella projektet valdes följande:

”Projektets målsättning är att under fälttestningsförhållanden uppnå följande:

- *bränslecellen startar med 100 % tillförlitlighet*
- *bränslecellen levererar nominell effekt inom 30 sekunder i 100 % av fallen*
- *bränslecellen när den uppnått nominell effekt fortsätter att leverera minst nominell effekt så länge lastbehov finns i 100 % av fallen*
- *ingen cell i bränslecellen avviker från medelspänningen med mer än 0,1 V vid full last*

Livslängdsmålet kommer inte att kunna verifieras i projektet då det dels är för tidskrävande och dels kräver orimlig mängd vätgas för ett komplett bränslecellsystem.”

De fyra projektmålen stämmer helt med de fyra första övergripande tekniska målen för Cellkrafts bränslecellsutveckling, med undantag för testning av start från minusgrader.

² Om bränslecellen är byggd för att klara start vid minusgrader (tillval).

³ En dygnscykel en varm sommardag motsvarar upp till 15 timmars drift vid hög temperatur.

Med mindre förändringar i projektplanen lyftes även de två sista tekniska målen åtminstone delvis in i projektet. Drift vid högre omgivningstemperaturer är viktigt eftersom en viktig potentiell marknad för bränsleceller är att ersätta större batteribanker. Batterier åldras avsevärt snabbare i varmare klimat, vilket förbättrar den ekonomiska kalkylen för bränsleceller som batteriersättare^{IV}.

2 Metodbeskrivning

2.1 Försök på laboratoriet

Cellkrafts laboratorium är helt datoriserat där samtliga variabler styrs, mäts och rådata sparas till fil. Fysikaliska variabler av stor vikt vid arbete med bränsleceller är luftflöde, luftflödets fukthalt, tryckfall⁴, driftstemperatur, ström, såväl stackpotential⁵ som enskilda cellers potential och stökiometri⁶. Cellkraft arbetar endast med rena vätgasbränsleceller, varför stökiometri i denna rapport endast refererar till luftöverskottet och aldrig vätgas eftersom vätgas alltid finns närvarande i tillräcklig mängd. Bränslecellen som användes under laborieförsöken var en stack med 12 celler och en nominell uteffekt på 400 W elektricitet.

Syftet med testerna var delvis att utvärdera stackens prestanda, men framförallt att studera driftsstabiliteten vid olika fuktbetingelser, stökiometri och temperatur. Kriteriet för stabilitet definierades som att en enskild cell i stacken inte får avvika mer än 0,1 V från cellernas medelpotential. Detta kriterium är godtyckligt satt, men tanken bakom är enkel. Alla celler i en bränslecell är seriekopplade och det är, i princip, den svagaste cellen som bestämmer prestanda och tillförlitlighet för bränslecellstacken. Om man kan undvika att få en svag cell i stacken är det ett tecken på att betingelser och prestanda är jämna, vilket ger bästa möjliga förutsättning för att prestanda ska fortsätta vara jämna.

2.2 Fältförsök

Omfattande laborativa tester under den första delen av projektet ringade in de driftbetingelser där man kan förvänta sig att stabil och tillförlitlig drift kan uppnås, inklusive omfattande tester vid höga omgivningstemperaturer. Dessa stabila betingelser fördes sedan in i styrsystemet för två olika bränsleceller som därefter fälttestades i den teknikbod Cellkraft har utvecklat för ändamålet. Figur 1 visar teknikboden som har två separata utrymmen – ett för bränslelager i form av ett 12-pack med vätgas⁷ och ett annat isolerat och tempererat utrymme för teknisk utrustning, inklusive bränsleceller.

⁴ Tryckskillnaden över stacken som krävs för att uppnå ett givet flöde.

⁵ Alla celler i en bränslecell är seriekopplade elektriskt i en så kallad stack. Stackpotentialen är alltså potentialen över alla celler.

⁶ Stökiometri definieras som kvoten mellan tillgänglig mängd reaktant och reagerad mängd reaktant.

⁷ AGA art. no 102855



Figur 1. Cellkrafts teknikbod för fältförsök

I fältförsök 1 användes en 400 W bränslecell med tunna MEA⁸. Syftet med att välja tunna MEA var att förutom tillförlitlighets- och robusthetsinformation från fältförsöket även få en uppfattning om livslängden för de använda membranen. Fältförsök 1 innehåller både lång drifttid (> 1.500 timmar) och långa viloperioder (upp till 1.100 timmar).

I fältförsök 2 användes en bränslecell på 750 W uteffekt som kördes lång tid (> 1.000 timmar) med endast kortare pauser (< 100 timmar) för att byta gaspaket. Ett viktigt mål med detta fältförsök var att verifiera att de rutiner som utvecklats för drift vid höga omgivningstemperaturer fungerade väl under lång drifttid. Den bränslecell som byggdes för detta försök skiljer sig från bränslecellen i fältförsök 1 på två sätt. Dels valdes MEA avsett för stationärt bruk, med lång livslängd och dels integrerades en fuktarenhet med hög kapacitet för att kunna återföra så mycket fukt som de laborativa försöken påvisat nödvändigt.

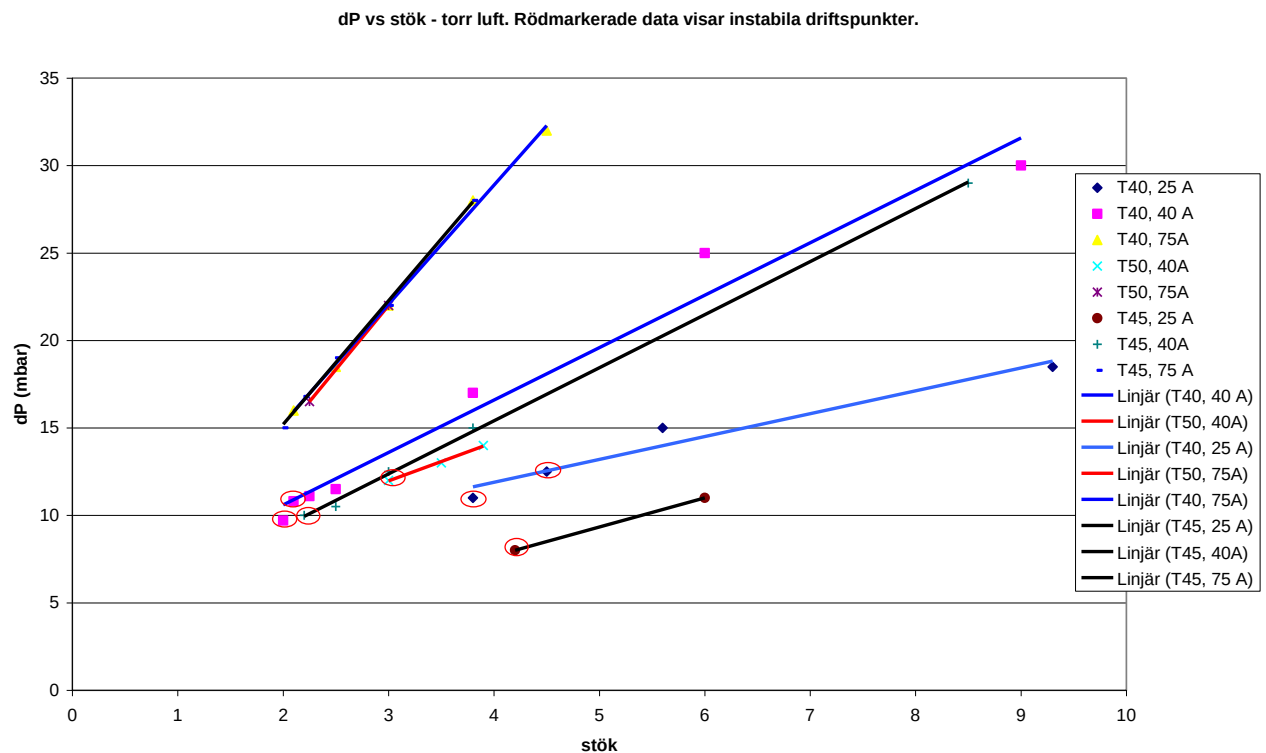
Gemensamt för båda fältförsöken var att samtliga driftsvariabler sparades med sekundupplösning till ett minneskort för senare bearbetning av resultat.

⁸ MEA = Membrane Electrode Assembly, det vill säga membran med elektroder preparerade på var sida. Elektrodena är vanligen mycket tunnare än membranet, varför tunna MEA i huvudsak avser tunna membran. Mer information om MEA finns bland annat på [Wikipedia.org](https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_Electrode_Assembly).

3 Resultat

3.1 Laborativa försök

Resultaten från stackkörningarna visar att de individuella cellspänningarna varierar mindre än 0,02 V och att stabila betingelser uppnås vid mycket låga tryckfall (< 13 mbar). Den fysikaliska bakgrunden till instabilitet under en viss trycknivå är att det krävs ett visst tryck för att driva ut eventuellt vätskeformigt vatten ur stackens flödeskanaler. En viktig delmängd av de laborativa försöken visas i Figur 2 nedan.



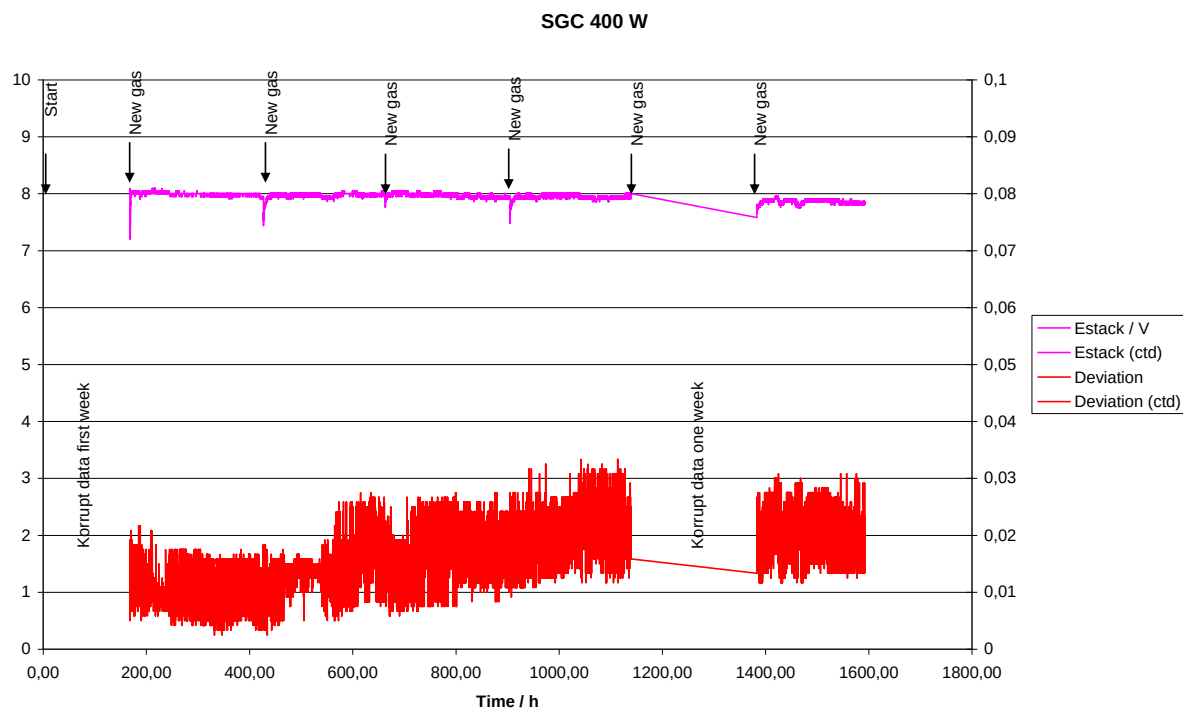
Figur 2. Tryckfall över en 12-cellstack som funktion av stökiometri vid olika ström och temperatur

3.2 Fältförsök

3.2.1 Fältförsök 1

Figur 3 nedan visar ackumulerade driftdata för fältförsöket som pågick under nästan 1.600 drifttimmar. Viktigaste observationen man kan göra är att avvikelserna mellan sämsta cellen och

medelvärde för alla celler stabiliserar sig kring 0,02 V, vilket är väl under 0,1 V som är acceptabelt enligt Cellkraft egna tekniska mål.



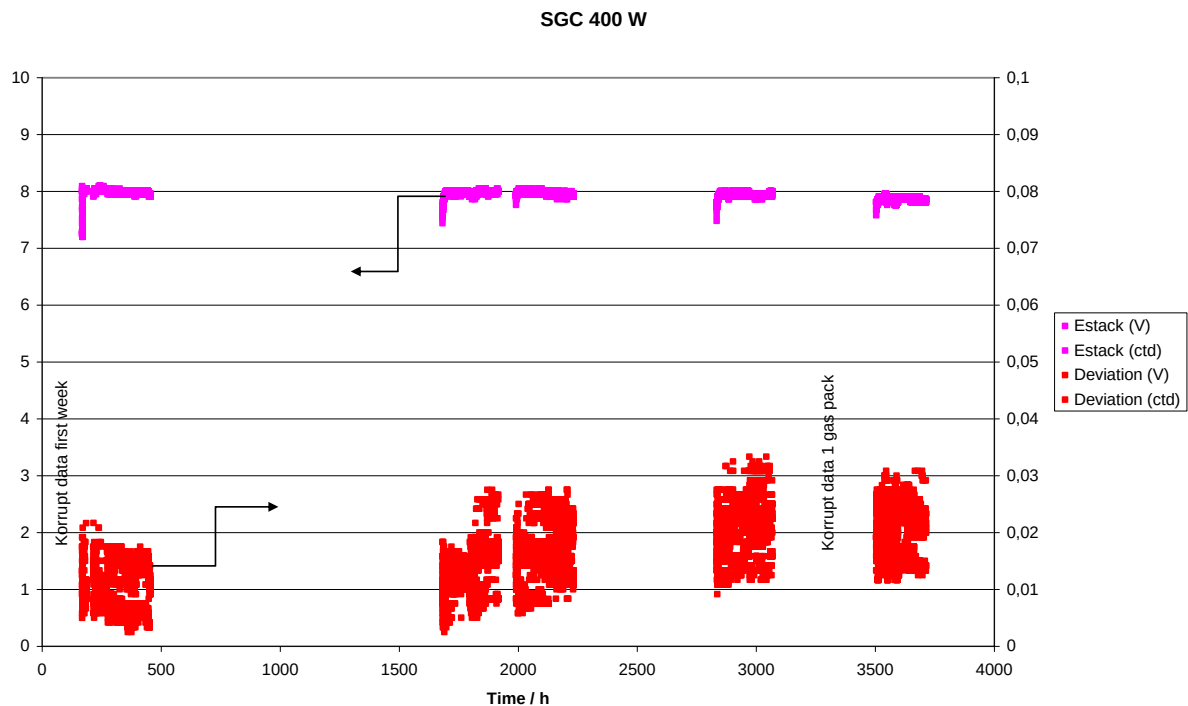
Figur 3. Rådata för fältförsök 1 med avseende på drifttid. Rosa är stackspänning och rött är differensen mellan den svagaste cellen och medelcellspänningen.

En annan viktig observation är att prestanda klingar av under försökets gång. Detta är väntat med tanke på att tunna MEA använts med kort förväntad livslängd⁹. Den avklingning som kan ses i detta fältförsök ger en god bild av hur lång livslängd man kan förvänta sig av det aktuella membranet. Om man ansätter 80 % av initialeffekten som livslängd kan man med utgångspunkt från dessa data säga att livslängden är i storleksordningen 5000 timmar¹⁰.

Eftersom fältförsök 1 innehöll långa driftpauser är det även intressant att betrakta data plottat med avseende på kalendertid som i Figur 4 nedan. Man kan egentligen inte dra några nya slutsatser av figuren annat än att det stöder bilden av att den degradering som ses i fältförsöket är kopplat till just drifttiden och inte kalendertid eller degradering i samband med start/stopp.

⁹ Trots kortare livslängd är tunna membran högtintressanta i vissa tillämpningar, framförallt tack vare höga prestanda och möjlighet att i vissa tillämpningar endast förlita sig på stackintern uppfuktning, vilket ger ett enklare, lättare och billigare totalsystem.

¹⁰ Hänsyn tas här till att lasten är resistiv (strömmen minskar i försöket också linjärt över tiden).



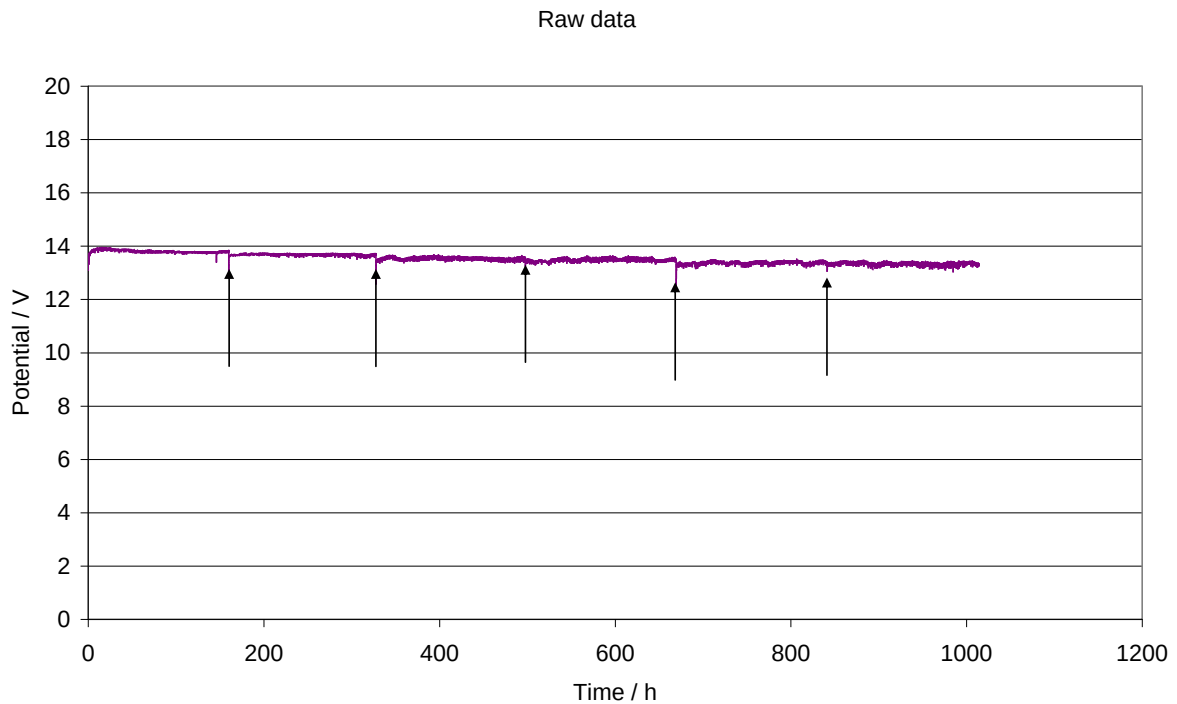
Figur 4. Rådata för fältförsök 1 med avseende på kalendertid. Rosa är stackspänning och rött är differensen mellan svagaste cellen och medelcellspänningen.

3.2.2 Fältförsök 2 – höga omgivningstemperaturer

Resultatet från försöket var positivt: bränslecellen startade och gav full effekt inom 30 sekunder varje gång och stannade aldrig förutom när bränslet var slut. Av särskild vikt i detta försök var att ingen av cellerna fluktuerade i spänning¹¹ trots att driften skedde vid hög temperatur, samt att ingen degradering på grund av den höga drifttemperaturen kunde skönjas under försökets 1000 timmar.

Med allt det sagt kan vi fokusera oss på ett oönskat fenomen som faktiskt observerades och orsakade degradering. Som man kan se av Figur 5 nedan degraderades prestanda i samband med nästan varje gasbyte.

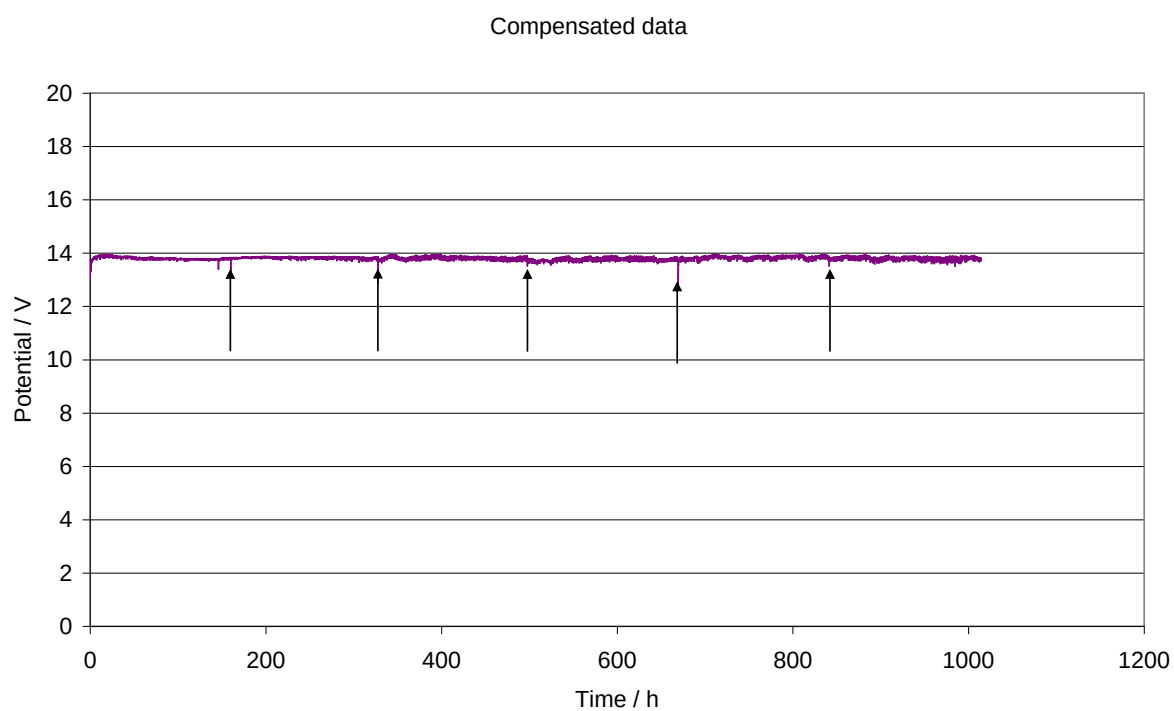
¹¹ Spänningsavvikelsen för enskilda celler plottas inte för fältförsök 2 då den avvikelser från medelcellspänningen man kan se i huvudsak kan härledas till en degraderingsmekanism som diskuteras och förklaras nedan. Denna mekanism drappar vissa celler värre än andra varför avvikelser i fältförsök 2 är större än i fältförsök 1. Om man korregerar data för denna mekanism är spänningsavvikelsen i samma storleksordning som för fältförsök 1.



Figur 5. Rådata från Fältförsök 2 (hög omgivningstemperatur). Pilar visar tidpunkter för byte av gaspaket.

Av den sjunkande trenden kan man luras att tro att det handlar om kontinuerlig degradering, vilket inte är fallet. För att illustrera att degraderingen sker i diskreta steg i samband med gasbyte beräknas den diskreta försämringen ΔV vid varje gasbyte¹². Detta ΔV adderas sedan till rådata efter varje gasbyte. Figur 6 visar resultatet om man kompenserar för de diskreta försämringarna. I den kompenserade grafen ser man inte alls någon sjunkande trend, vilket gör att man säkert kan spåra försämringen till fenomen i samband med byte av gaspaket.

¹² Direkt efter gasbytet är prestanda något lägre på grund av bland annat lägre driftstemperatur. Därför beräknas ΔV som skillnaden mellan medelvärdet av potentialen sista driftstimmen före gasbyte och medelvärdet mellan timme 2 och 3 efter gasbytet.



Figur 6. Kompenserade data från fältförsök 2. Pilar visar tidpunkter för byte av gaspaket.

4 Diskussion

4.1 Laborativa försök

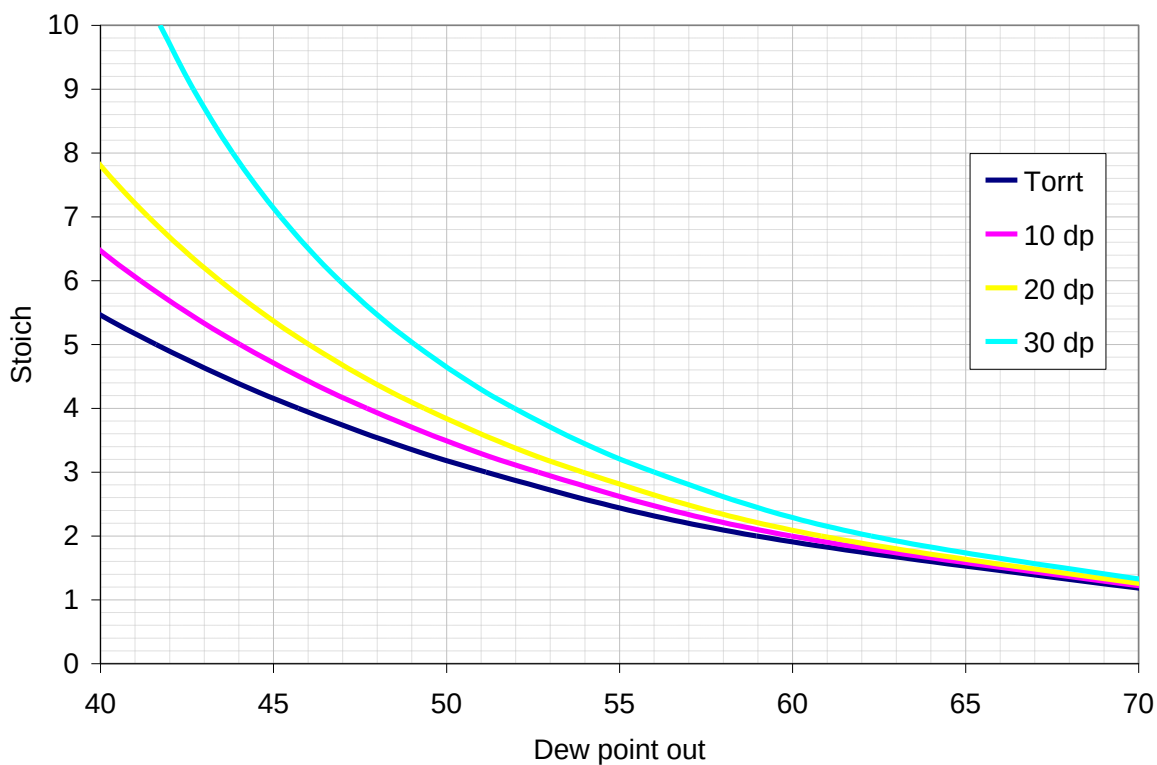
Eftersom Cellkrafts bränslecellsystem är utvecklade för att kunna köras även vid låga temperaturer samt att klara köldstart är en av de viktigaste systemegenskaperna att klara stabil drift vid tvåfasbetingelser¹³. Låga driftstemperaturer innebär att det är möjligt att effektivt utnyttja det producerade vattnet för att internt fukta bränslecellen¹⁴. Cellkrafts bränsleceller kan därför köras vid låga temperaturer med god prestanda utan att behöva använda extern fuktare.

Vid högre temperaturer och torrt luftflöde minskar tryckfallet i stacken vilket innebär att det krävs ett högre flöde för att upprätthålla tryckfallet över stacken. Samtidigt är det önskvärt att tillföra luft vid låga stökiometrier/flöde för att undvika uttorkning. Detta komplicerar möjligheten att uppnå stabila betingelser och god prestanda vid högre temperaturer när inte fuktad luft används.

Figur 7 nedan visar beräknade data för övergången mellan enfas och tvåfas då man antar att avgaserna från stacken är fuktmättade vid utloppstemperaturen. Figuren visar också hur olika nivåer av befuktning förskjuter gränsen mellan enfas och tvåfas. Med torr inluft och en temperatur på 55 °C går gränsen mellan enfas och tvåfas vid en stökiometri på ca 2,5.

¹³ Med tvåfas menas att fluiden består av både gas och vätska. I detta fall specifikt att gasen innehåller luft mättad med vattenånga samt vätskeformigt vatten.

¹⁴ Vid låga driftstemperaturer kan gas bära mindre mängd vatten, vilket gör att större andel av producerat vatten blir vätskeformigt.



Figur 7. Stökiometrigräns mellan tvåfas- och enfasbetingelser som funktion av utloppstemperatur och daggpunkt på ingående luft. Tvåfas inträffar under respektive kurva.

Cellkrafts stackinterna¹⁵ uppfuktare fungerar bäst under tvåfasförhållanden. En slutsats från studien är att vid temperaturer över ca 55 °C driftstemperatur bör någon form av extern återvinning av fukt användas för att stabila betingelser ska erhållas.

4.2 Fältförsök

4.2.1 Fältförsök 1

Drifttiden för fältförsök 1 är visserligen endast cirka 8 % av beräknad livslängd för en stationär bränslecell, men den låga avvikelsen mellan lägsta cellspänning och medelcellspänning i kombination med att avvikelsen ser ut att vara stabil över tiden inger gott hopp om att det tekniska målet kan hållas även för avsevärt längre drifttider än i detta fältförsök.

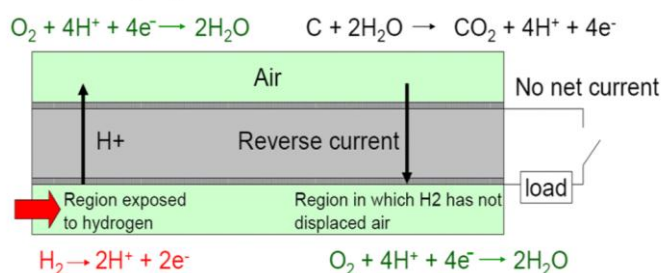
En annan lärdom man kan dra från de samlade data är att data saknas för två tidsperioder. Orsaken står att finna i den mjukvarurutin som läser av och sparar data till ett minneskort. I dessa tester användes en extern hårdvara som kommunicerade med bränslecellens styrsystem för att få data som sedan sparas ner på ett microSD kort. Det kan konstateras en bugg i mjukvaran som måste åtgärdas. Det arbetet ges dock låg prioritet med tanke på att SD-kortet

¹⁵ Befuktningen sker direkt inuti bränslecellstacken med en metod som hålls hemlig av konkurrensskäl.

kommer integreras direkt i bränslecellens styrsystem för nästa generations hård-/mjukvara. Då blir delsystemet för datalagring väsentligt enklare, vilket underlättar felsökning eftersom systemet då endast består av en hårdvara och en mjukvara att jämföra med två hårdvaror och två mjukvaror som i dagsläget.

4.2.2 Fältförsök 2

Efter studier av data under fältförsökets gång kunde orsaken till det degraderande fenomenet misstänkas vara kolkorrosion på katoden enligt principen i Figur 8 nedan. Kolkorrosion har modellerats och beskrivits av bland andra Meyers och Darling^V. Normalt finns rutiner för att förhindra detta i Cellkrafts styrsystem, men detta skyddssystem var satt ur spel på grund av en bugg i mjukvaran när styrsystemet programmerades. Omprogrammering skedde under fältförsökets gång för att åtgärda felet, men problemet kvarstod. Efter försökets avslutande kunde det konstateras att buggen ej hade åtgärdats i samband med omprogrammeringen.



Figur 8. Princip för kolkorrosion på katoden.

Kolkorrosion är något av en mardröm för många utvecklare av bränsleceller, varför Cellkraft är stolta över att ha utvecklat en rutin som undviker de negativa konsekvenserna av fenomenet. Många konkurrenter tar till komplicerade lösningar som involverar genomspolning av kvävgas i samband med driftstart och driftstopp för att undvika degradering, något som inte är nödvändigt med Cellkrafts rutin. När den styrsystemskoden är avlusad det vill säga... I fältförsök 1 ser man exempel på ett system med fungerande rutin för att undvika kolkorrosion.

5 Slutsats

Utvecklingsarbetet som utförts inom ramen för detta projekt har lagt en god grund för att Cellkraft ska uppnå sina egna, högt ställda, tekniska målsättningar. Projekt mål uppfylldes i sin helhet i projektet:

- *bränslecellen startar med 100 % tillförlitlighet*
- *bränslecellen levererar nominell effekt inom 30 sekunder i 100 % av fallen*
- *bränslecellen när den uppnått nominell effekt fortsätter att leverera minst nominell effekt så länge lastbehov finns i 100 % av fallen*
- *ingen cell i bränslecellen avviker från medelspänningen med mer än 0,1 V vid full last*

5.1.1 Övriga slutsatser

För driftstemperaturer över cirka 55 °C krävs extern fuktåtervinning.
Luftrycket måste vara minst 13 mBar för att driva ut vattendroppar under tvåfasdrift.

5.2 Vidare arbete

Att ha lyckats med måluppfyllnaden i två fältförsök som genomförts på under en relativt kort tidsperiod ger en indikation om att tekniken har den inneboende potentialen till att vara så robust och tillförlitlig som Cellkrafts målsättning är. Det krävs dock mer försök i fält, gärna under varierade förhållanden, för att ge en bättre bild av hur väl tekniken lever upp till målsättningarna och för att hårdare pröva tillförlitligheten.

Som ett första steg föreslår Cellkraft att vidga de fältförsök som genomförts inom ramen för detta projekt samt att genomföra fältstudier med en bränslecell i mobil tappning för att kunna variera omgivningsmiljön.

6 Referenser

^I Iverson, James R, *Digital Control Technology Enhances Power System Reliability and Performance*, Cummins Power Generation publication F-1536, 2004.

^{II} Grant, G.M., et. Al., *Emergency Diesel Engine Generator Power System Reliability* 1987-1993, Idaho National Engineering Laboratory, INEL-95-0035, February 1996.

^{III} Leonidas, Tom Jr., PE, *Restoring reliability to emergency-power systems*, Maintenance Solutions magazine, April 2006.

^{IV} Cellkraft whitepaper on Backup. http://www.cellkraft.se/downloads/Backup_Fuelcells.html

^V Jeremy P. Meyers*,^z and Robert M. Darling, *Journal of The Electrochemical Society*, **153** _8_ A1432-A1442 _2006_



Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69
www.sgc.se • info@sgc.se
