
Rapport SGC 160

**Utveckling av köldtåligt
bränslecellsbaserat kraftaggregat.**

©Svenskt Gastekniskt Center – April 2007

Sammanställd av Corfitz Nelsson
Svenskt Gastekniskt Center AB

SGC:s FÖRORD

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

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. SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Lunds Energikoncernen AB, Göteborg Energi AB, och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Statens energimyndighet
AGA Gas AB
Cellkraft AB
MEAC AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

Sammanfattning

Denna rapport är sammanställd av Corfitz Nelsson, SGC, baserad på underlagsmaterial från Mats Rönning, MEAC och Joakim Nordlund Cellkraft AB och avhandlar de utvecklingsdelar som bedrivits med finansiering via SGC:s ramprogram. Det gäller dels utvecklingsdelen under 2003 inom projekt Fjällcell som skedde i samarbete mellan MEAC och Cellkraft samt den fas som bedrevs av Cellkraft i samarbete med AGA Linde under projektnamnet Vinterström. MEAC:s eget utvecklingsarbete efter 2004 inom projekt Fjällcell avhandlas inte här men kan följas på www.meac.se.

Projektet Fjällcell initierades 2003 av MEAC AB med ambitionen att konstruera ett bränslecellbaserat kraftaggregat för applikationer där man inte har fast elförsörjning och inte kan/önskar använda batterier eller dieselaggregat. Detta ställer mycket höga krav på aggregatets funktion och komponenter. Det är inte bara varierande temperaturer (från -30°C upp till kanske 30-40°C) utan även andra faktorer som systemkomponenternas effektbehov och pålitlighet som ställer stora krav på såväl enskilda komponenter som systemet. Cellkraft AB kunde leverera en bränslecell som uppfyller alla dessa förutsättningar och under våren 2003 drogs projektet igång.

Inom ramen för Vinterström har ett bränslecellsystem utvecklats till en självständig enhet som kan placeras utomhus och är kapabel att leverera ström även när temperaturen i omgivningen sjunker ner till -30 °C. Kommunikationslösning via GSM/GPRS har utvecklats och systemet har EMC-testats. Omfattande köldtester har utförts på laboratoriet och fälttestning har skett med omgivningstemperaturer på ner till -20 °C.

De flesta punkter i målsättningen klarades av: systemet utvecklades, byggdes och testades. Omfattande labbtester utfördes för att säkerställa funktion vid minusgrader. Systemet kan flyttas enkelt och fungera i olika miljöer. Däremot lyckades inte målsättningen med autonom drift under tre månader. Systemet stängdes ner redan efter drygt en och en halv månad, endast halva måltiden. Anledningen till nedstängningen var inte att bränslecellen fungerade dåligt, utan berodde på att modemet slutade fungera. Efter EMC-tester i mitten av september 2005 har systemet åter placerats ut på Lidingö för fortsatt fältprov.

Målsättning	1
Långtidstest	2
Test av systemkomponenter	2
Driftsättning på Önrun	2
Driftdata från Önrun	3
Test av systemkomponenter	4
Projektfas 2004-2005, Vinterström	5
Systembygge	5
System för fjärrövervakning/fjärruppgradering	5
Installation i utomhusskåp	6
Installation och drift	7
Köldtester på labb	9
Mekaniska köldprov	9
Beräkning av termisk massa	10
Köldstartsförsök	11
EMC-testning av S-50	11
Val av standard	12
Ledningsburna störningar	12
Luftburna emissioner (strålning)	12
Slutsatser	14

Projektet Fjällcell initierades 2003 av MEAC AB med ambitionen att konstruera ett bränslecellbaserat kraftaggregat för applikationer där man inte har fast elförsörjning och inte kan/önskar använda batterier eller diesellaggregat. Detta ställer mycket höga krav på aggregatets funktion och komponenter. Det är inte bara varierande temperaturer (från -30°C upp till kanske $30-40^{\circ}\text{C}$) utan även andra faktorer som systemkomponenternas effektbehov och pålitlighet som ställer stora krav på såväl enskilda komponenter som systemet. Cellkraft AB kunde leverera ett bränslecellsystem som uppfyller alla dessa förutsättningar och under våren 2003 drogs projektet igång. Under slutet av 2004 beslutade parterna att fortsatt utveckling skulle göras av respektive part på egen hand och MEAC driver sedan dess projektet Fjällcell vidare. Cellkraft fortsatte sin utveckling under namnet Vinterström.

Denna rapport är sammanställd av Corfitz Nelsson, SGC, baserad på underlagsmaterial från Mats Rönning, MEAC och Joakim Nordlund Cellkraft AB och avhandlar de utvecklingsdelar som bedrivits med finansiering via SGC:s ramprogram. Det gäller dels utvecklingsdelen under 2003 inom projekt Fjällcell som skedde i samarbete mellan MEAC och Cellkraft samt den fas som bedrevs av Cellkraft i samarbete med AGA Linde under projektnamnet Vinterström. MEAC:s eget utvecklingsarbete efter 2004 inom projekt Fjällcell avhandlas inte här men kan följas på www.meac.se.

Målsättning

Ett bränslecellsystem skall utvecklas och testas för att uppfylla följande:

- Skall kunna fungera autonomt utan service och underhåll under 3 månader.
- Skall kunna fungera i -30°C .
- Skall kunna flyttas och fungera i olika miljöer.
- Skall kunna kommunicera sin status och fjärrstyras via GPRS-modem.

Projektfas 2003-2004

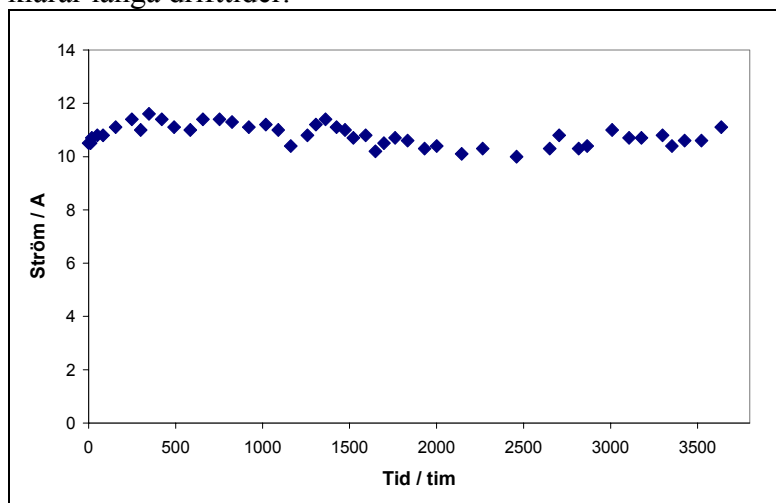
Projekt syftade till att ta fram ett PEM-bränslecellsystem som klarar autonom drift vid mycket påfrestande yttre betingelser som ibland understiger -30°C . Avsikten är att driva elektroniska system såsom bredbandslänkar, meteorologiska mätsystem och radiolänkutrustning på platser där det inte är ekonomisk försvarbart att ansluta till elnätet. Under etapp 1 var målet att bygga ett första testsystem och placera det på fjället Önrun i den testplats som MEAC byggt upp för testning av kraftkällor i fjällmiljö. Systemet installerades 16-17/2 2004 och producerade elektricitet på plats. Den första etappen var alltså avklarad.

Testplatsen ligger på toppen av fjället Önrun (856 m). Vintertid nås platsen med hjälp av snöskoter. Önrun ligger 60 km nordöst om MEACs kontor i Järpen. Den infrastruktur som finns etablerad på platsen är en unik resurs som utgör en förutsättning för att kunna utvärdera tekniken i den speciella miljön. På testplatsen finns möjlighet att ta emot och skicka analoga och digitala data till bränslecellsystemet. Information i realtid överförs från testplatsen via MEACs egna bredbandsradiolänk till Järpen där anslutning till internet finns. På så sätt finns möjlighet att övervaka och styra systemet från MEACs kontor och Cellkrafts kontor i Stockholm. Bränslecellsystemet kan startas och stoppas, last kan ändras, driftsparametrar kan regleras, samtidigt som cellspänningar, temperaturer etc kan övervakas.

Det flasklager med vätgas som finns på platsen omfattar 4 st 50-liters flaskor kopplade i två par. Indikation sänds när låga nivåer nås i någon av kretsarna. Förutom realtidsdata så loggas också data som skickas en gång per dygn.

Långtidstest

För att verifiera bränslecellstackens långtidsegenskaper byggde Cellkraft en laborierigg för att kunna testa bränsleceller under längre tider. Sedan driftsättningen under hösten 2003 har en liten bränslecell körts kontinuerligt, dygnet runt på Cellkrafts laboratorium. Nedan en graf som visar resultatet från körningarna. Dessa data visar att stacken som byggts till fjällsystemet har en robust konstruktion och att det finns förutsättningar för att materialen klarar långa drifttider.



Figur 1. Data från långtidsexperiment.

Test av systemkomponenter

För att få ett bränslecellsystem att fungera väl ställs höga krav på att man valt systemkomponenter rätt. De måste vara väldimensionerade för systemet, inte bara i fråga om funktion, de måste även ha lång livslängd, vara energisnåla och kunna matas med 12 V likström. Under 2003 köptes och lånades en mängd olika komponenter in för testning. Vissa komponenter var lätta att hitta, medan andra var mycket svårare.

Driftsättning på Önrun

Den 16:e-17:e februari 2004 installerades och driftsattes bränslecellen uppe på Önrun. Nedan några bilder från den expeditionen. Expeditionen bestod av Mats, Tomas och Ingegärd från MEAC och Anders och Joakim från Cellkraft.



Driftsättning av gasinstallation



Bränslecell i teknikutrymmet



Expedition på väg



Testsite Örrun. Teststuga tv och MEACs mast i mitten.



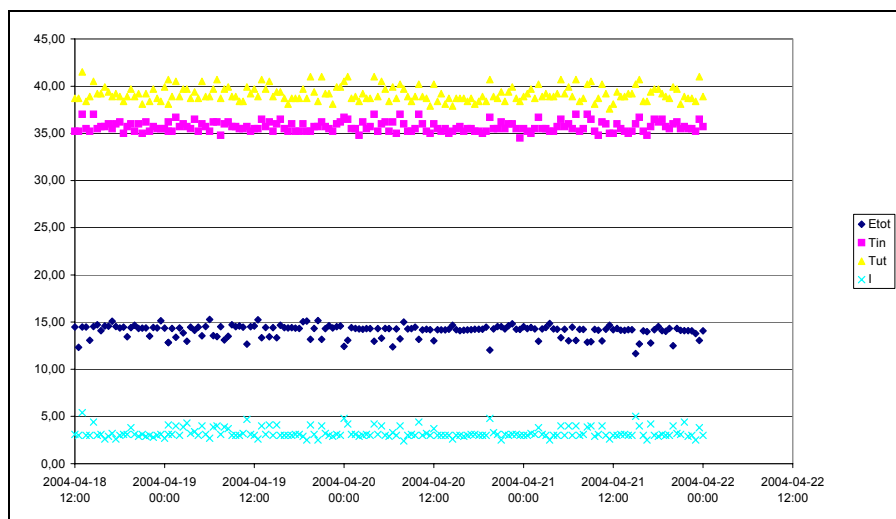
Teknikrum i separat utrymme.



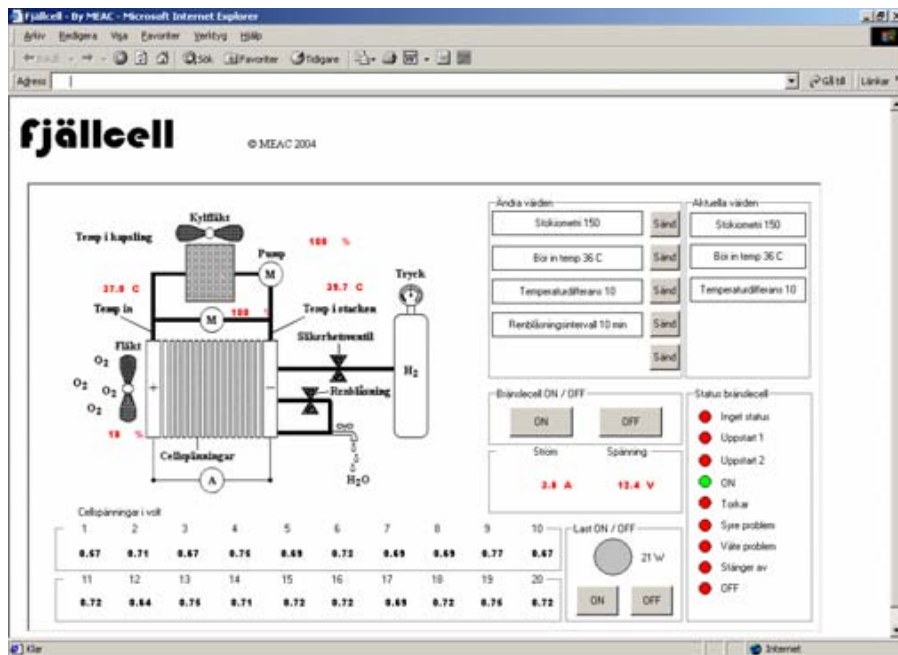
Slutmek inne i teststugan.

Driftdata från Örrun

Hela teknikkedjan från bränslecellen, teknikrum, övervakningsutrustning, radiolänk och Internetuppkoppling fungerade väl. Nedan en graf över avlästa data och en bild på användargränssnittet vid fjärrstyrning/övervakning. Sist följer en bild från den webbkamera som övervakar systemet.



Figur 4. Driftdata från bränslecellen.



Figur 5. Webbgränssnitt för drift och övervakning. Bilden visar statusen kl 10:48 torsdag den 19 februari.



Figur 6. Momentanbild från den webbkamera som övervakar bränslecellen på plats.

Test av systemkomponenter

Projekt visade att det var tekniskt möjligt att konstruera ett bränslecellbaserat kraftaggregat som kan fungera i mycket krävande miljöer. Vissa behov av förbättringar identifierades som utgjorde grunden för fortsatt utvecklingsarbete.

Projektfas 2004-2005, Vinterström

Systembygge

En rad förändringar har införts mellan systemet som användes i etapp 1 och i Vinterström. Nedan visas de bägge aggregaten:



Figur 1. Prototyp Etapp 1 (vänster) och Vinterström (höger).

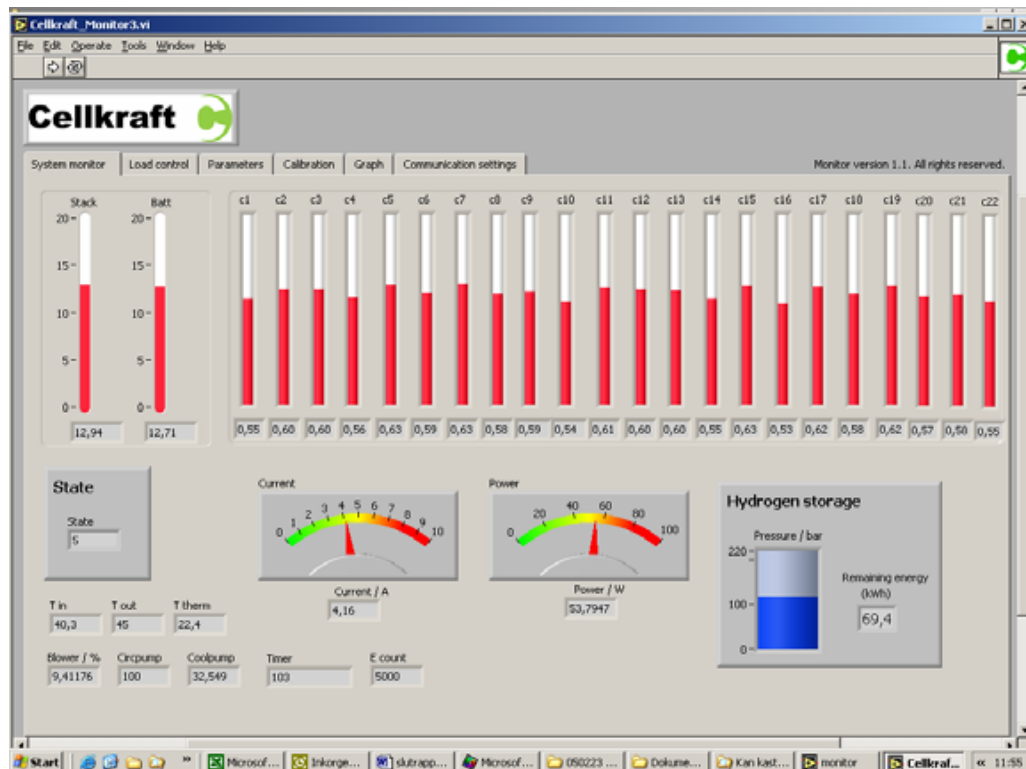
Utvecklingen har gått från prototyp till ett mer produktnära utseende. Även på insidan har utvecklingen gått från prototyp till mer produktionsanpassad design. Montering av elektronik görs på egen plåt som kan skjutas in och ut, montering av stack och fuktare görs på egen plåt liksom övriga processkomponenter.

De flesta systemkomponenter är dock desamma, bland annat samma fläkt, pumpar och ventiler. Stacken har samma grunddesign, liksom fuktaren. Styrsystemet är det som genomgått största förändringen. Hårdvaran har uppgraderats för att inkludera funktionalitet som tidigare fick adderas utanför styrsystemet. Störst är förändringen i mjukvaran. Resultaten från fältförsöken i under etapp 1, har i kombination med otaliga labbförsök givit en hel del ny kunskap om hur bränslecellen bättre kan styras för att förbättra verkningsgrad, stabilitet och tillförlitlighet. Algoritmen som styr bränslecellen har sedan reviderats grundligt med all den kunskapen som grund. För att möjliggöra alla förbättrade rutiner har bränslecellen blivit hybridiserad – intimt sammankopplad med ett batteri.

System för fjärrövervakning/fjärruppgradering

För att kunna kommunicera med bränslecellen på avstånd utvecklade Cellkraft ett binärt protokoll för kommunikation mellan bränslecell och extern utrustning (modem, PC etc). Samtidigt konstruerades ett program som fungerar som gränssnitt mot bränslecellen, Monitor. Med hjälp av det programmet kan man koppla upp sig mot bränslecellen direkt via kabel, via GSM (via modem) eller GPRS (via Internet). De senare två alternativen kräver att bränslecellen är kopplad till ett GSM/GPRS-modem.

Med Monitor kan man se alla aktuella mätvärden från bränslecellen, som cellspänningar, stackspänning, batterispänning, ström, effekt, temperaturer etc. Man kan också spara data till fil, se på data i form av grafer samt styra de digitala utsignaler som finns i bränslecellen. Dessa slår av och på de 12V-halogenlampor som fungerar som last i testsystemet på Lidingö.

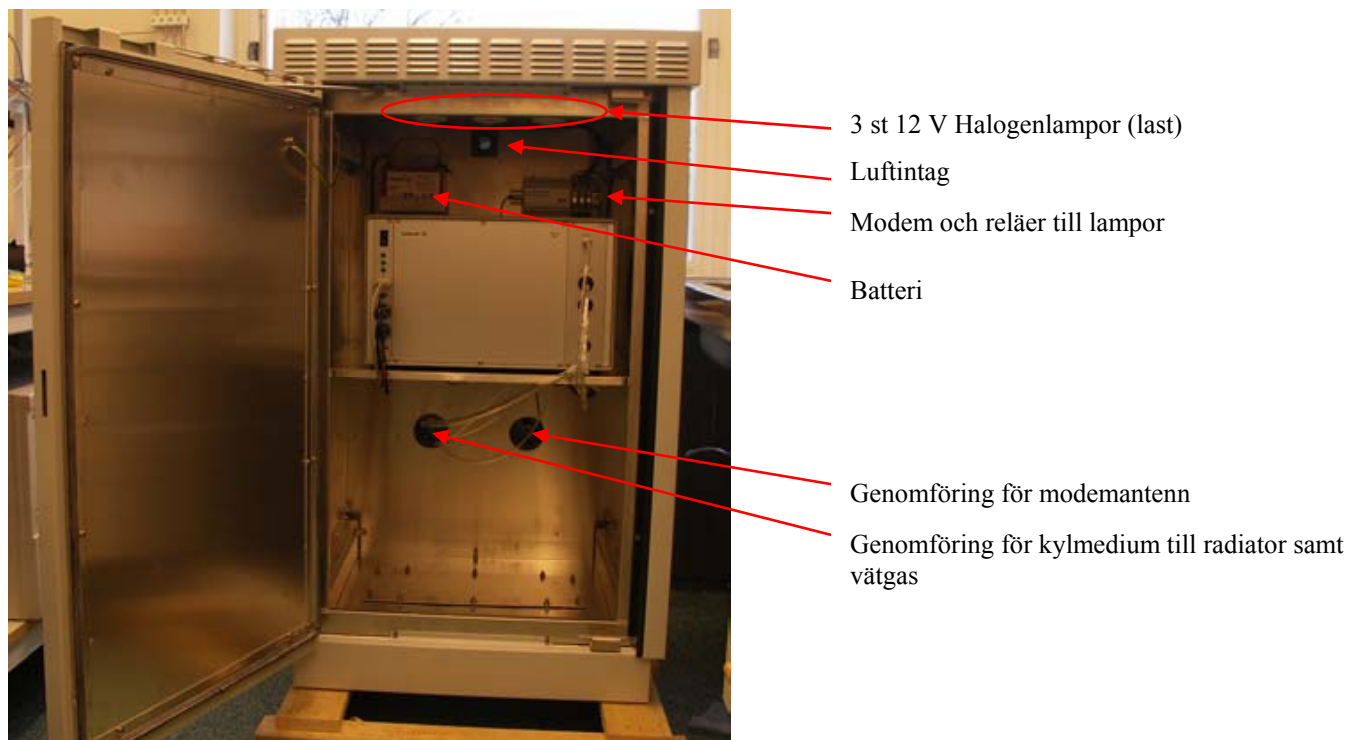


Figur 2. Gränssnittet för Monitor.

Den stora förändringen i förhållande till det gränssnitt som användes i den föregående fasen är att möjligheten nu finns att uppdatera styrsystemets drivrutiner/parametrar via Monitor. Allt eftersom nya insikter nås för hur bränslecellen skall köras, baserat på fältprov och olika typer av labbförsök, kan drivrutinerna för styrsystemet enkelt uppgraderas.

Installation i utomhusskåp

Bränslecellen i projekt Vinterström skall kunna placeras i princip var som helst, alltså inte vara beroende av en byggnad. För att klara detta modifierades ett kommersiellt utomhusskåp för elektronik, se bilden nedan. Luftintag, radiator, antenn för modemmet fick adderas. Lasten, 12 V halogenlampor monterades även in i skåpet.



Figur 3. Modifiering av utomhusskåp.

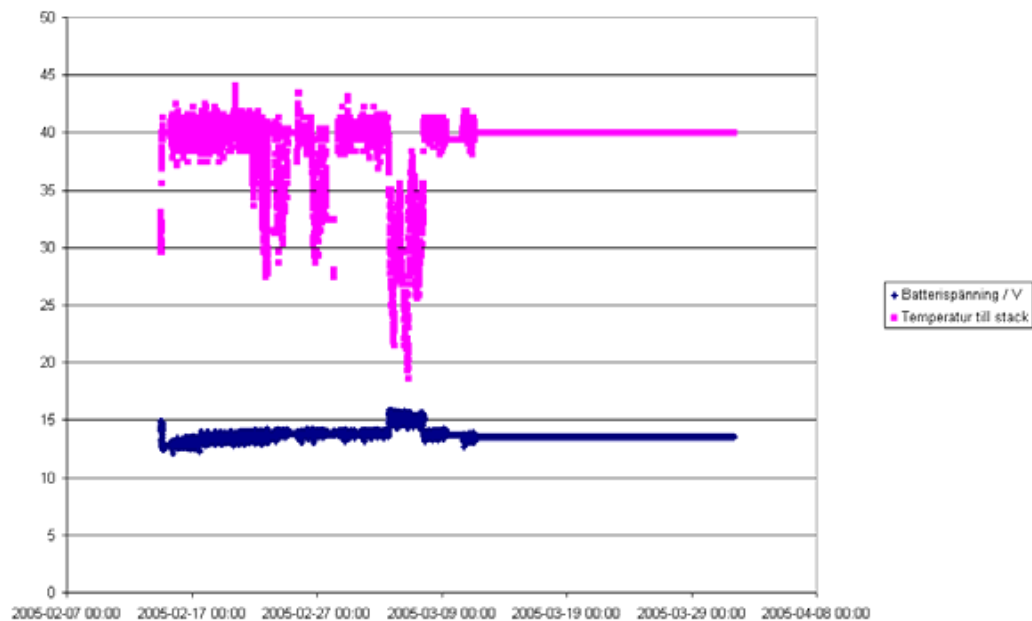
Installation och drift

Den 14/2- 05 installerades systemet på AGAs område på Lidingö. Tre dagar senare kopplades ett tolvpack med vätgas in, vilket motsvarar ca: 120 kWh elektricitet. Det räcker till kontinuerlig drift i cirka 2400 timmar, eller 100 dygn vid nominellt effektuttag, 50 W.



Figur 4. T.v. system vid installationen 14/2. T.h. efter installation av tolvpack gas den 17/2 -05.

Installationen i mitten av februari blev mycket lyckosam. Eftersom klimattest av bränslecellen är ett av de viktiga inslagen i detta projekt var det glädjande att temperaturen sjönk ner och höll sig under nollstrecket i en hel månad. Som kallast var det cirka $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bränslecellen klarade av de låga omgivningstemperaturerna, men eftersom temperaturen i bränslecellens kylsystem sjönk lägre än vad systemet var designat för, finns anledning att justera kylsystemets utformning. Temperaturen i kylsystemet är plottad i grafen nedan som visar data för bränslecellens drift från och med 14/2 till och med 1/4-05.



Figur 6. Driftdata från försöken.

Grafen ovan är inte lättolkad, variationer sker delvis på grund av testplanen, men även på grund av yttre betingelser. Särskilt noteras att temperaturen i kylsystemet vid två tillfällen sjunker ner mot och under 20 °C. Detta sker på grund av att yttertemperaturen sjunker ner mot -20°C. Det är i och för sig inget stort problem i sig eftersom bränslecellen klarar av drift även när kylsystemets temperatur är under 10 °C, men det är lite alarmerande eftersom temperatursänkningen inte förväntades. Anledningen till temperatursänkningen är att pumparna i kylsystemet i detta system ej samtidigt fungerar som backventiler, det vill säga att de släpper igenom kylmedium bakvägen när de ej är i drift. En konsekvens av detta är att ett litet flöde av kylmedium transporteras bakvägen genom kylpumpen även när den är avslagen.

En enkel lösning på detta problem skulle vara att bygga in en backventil i serie med kylpumpen, men det är svårt att hitta en lämplig backventil som matchar dessa små pumpars karaktäristik. Anledningen till det är att de är av vibrerande typ, de bygger alltså inte upp ett statiskt tryck utan pulsar fram flödet relativt högfrekvent. En annan lösning som kanske är mer gångbar är att byta ut kylpumpen mot en annan typ av pump med integrerad backventilsfunktion.

Grafen visar även att kommunikationen slutar fungera i mitten av mars. Då handlar det om en felberäkning på den datamängd som förs över via GPRS. Konsekvensen blev att det kontantkort som beräknats räcka hela säsongen tog slut redan efter en månads drift. I väntan på ett abonnemangskort gick det att ringa upp systemet för att se dess status. Tyvärr slutade modemmet att fungera den första april. I samband med detta stängdes systemet ned och startades bara på plats vid olika besök och demonstrationer. Systemet i sig fungerade dock väl. Nedan ytterligare två bilder från driften på Lidingö.



Figur 7. T.v. Översnöat system 23/2. T.h. istapp vid avgasutloppet 3/3 -05.

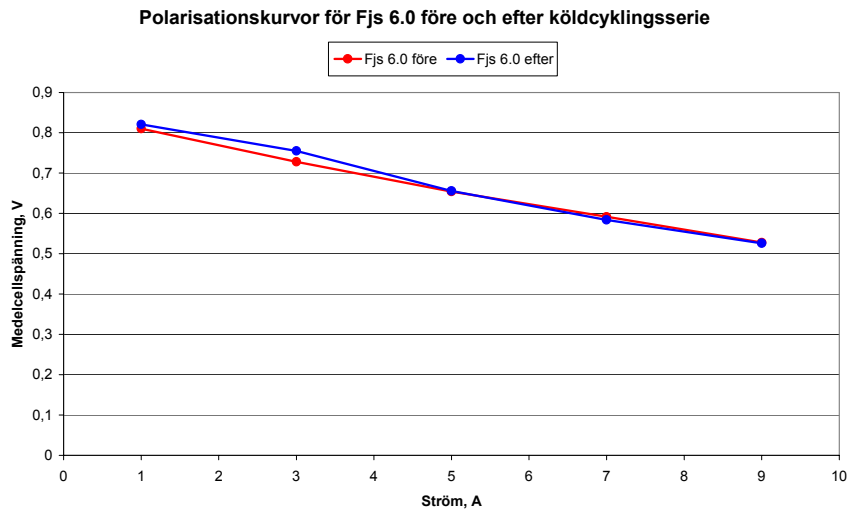
Istappen på bilden ovan riskerar inte påverka driften, avgaserna så pass är varma att det finns ingen risk att istappen växer till så att utloppet blockeras. Systemet placerades åter ut på Lidingö den 15/9. Inför detta har mjukvaran i modemmet uppgraderats efter kontakt med tillverkare. Sedan återinstallationen har systemet kört cirka 300 timmar kontinuerligt utan problem. Den 28/9 demonstrerades bränslecellens drift via GSM från SGC i Malmö.

Köldtester på labb

Under projekt har en stor mängd laboratorieförsök utförts där bränsleceller har körts och startats upp från temperaturer ner till $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Försök har utförts både under hösten 2004 och under senvåren 2005. I försöken har inte bara bränslecellstackar testats, även systemkomponenter och driftslogaritmer har utvärderats. Under hösten 2004 bedrevs omfattande köldförsök med annan finansiering, något som kraftigt höjt kunskapen inom området köldstart av polymerelektrolytbränsleceller. Med ledning av pressreleaser från ledande bränslecelltillverkare under våren 2005 kan man dra slutsatsen om att Cellkraft vid denna tidpunkt har insikter kring köldstart av bränsleceller som ligger i absoluta frontlinjen. Nedan presenteras en del av resultaten från köldförsöken.

Mekaniska köldprov

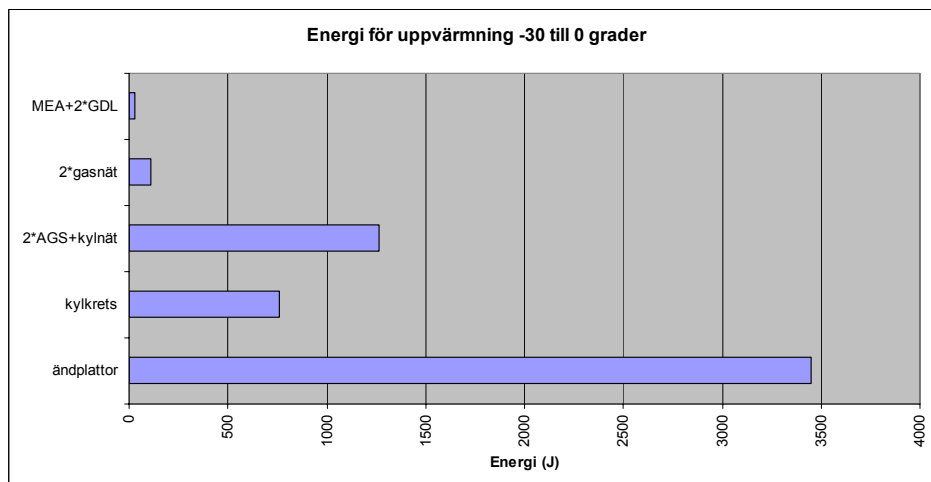
För att säkerställa att bränslecellerna klarar start/stopp även i kraftig kyla utan att degraderas genomfördes ett mekaniskt köldtest där två stackar kördes, frystes ner, tinades och kördes på nytt. Skillnaden mellan stackarna var att den ena torkades ut före nedfrysning, medan den andra frystes ned i helt fuktigt tillstånd. Resultatet var mycket lovande. Båda stackarna klarade hela testserien utan degradering.



Figur 8. ”Fuktig” stack före och efter mekaniskt köldprov.

Beräkning av termisk massa

Beräkning av stackens termiska massa visade tydligt att de innersta delarna av cellerna, MEA och GDL, kan värmas upp mycket snabbt, men kommer att kylas ner på grund av värmeledning till de kallare komponenterna. Största termiska massan står ändplattorna för, men de behöver inte värmas upp alls för att bränslecellen skall kunna köras:



Figur 9. Beräknade termiska massor i en teststack.

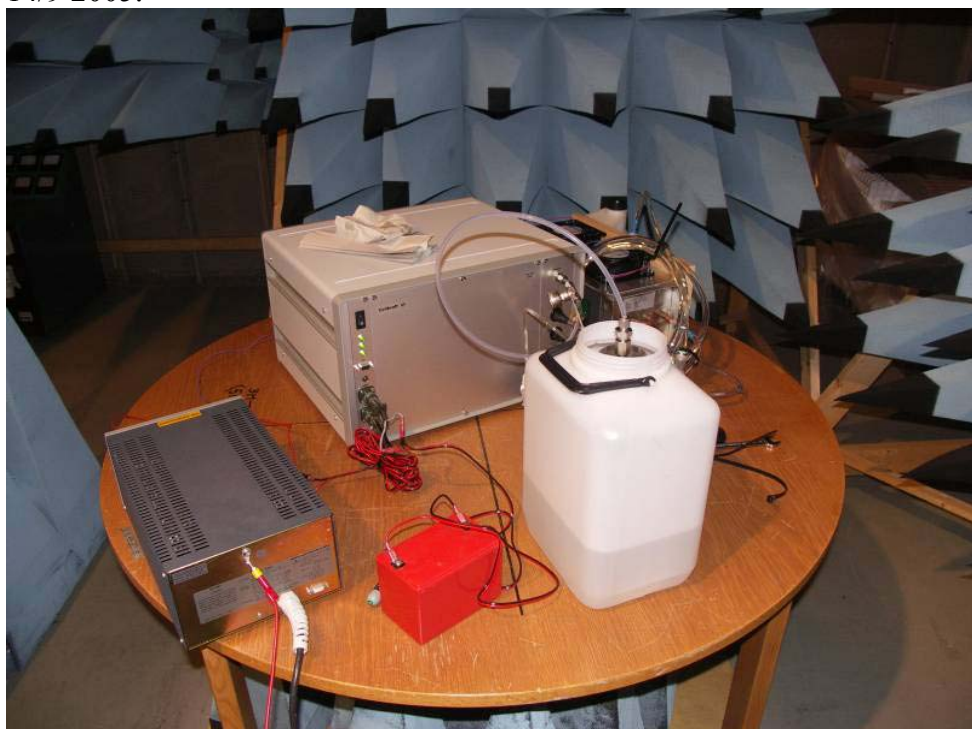
Resultatet från beräkningarna visade att de låga termiska massorna hos de inre delarna i bränslecellen gör att det troligen är möjligt att snabbt starta upp en bränslecell från -30 °C.

Köldstartsförsök

En viktig del i arbetet var att utvärdera 6 olika möjligheter att starta upp en bränslecell från kyla. Samtliga försök gjordes med bränslecellstackar av den typen som används i projektet. Med "normal" uppstart kunde bränslecellen startas från -13 °C. lägre temperaturer kräver någon form av hårdvaruanpassning. Snabbaste uppstart från -30 °C gick på mindre än en minut, dock med risk för degradering med tiden. All erfarenhet från den tidigare försöksserien användes för att skapa den köldstartsalgoritm som användes i Vinterströmsystemet. Även om algoritmen finns återstår dock fortfarande visst arbete med systemkomponenterna innan S-50 kan startas upp från -30 °C. Bland annat behöver åtminstone en av pumparna i systemet bytas ut mot typ som klarar av att pumpa vid -30 °C.

EMC-testning av S-50

För att få sälja en bränslecell krävs att den uppfyller de normer som gäller för elektromagnetisk strålning i den miljö där den kommer att användas. Eftersom bränslecellen är ett komplicerat system med nyutvecklat styrsystem, vibrerande pumpar och borstlös luftfläkt är det troligt att vissa åtgärder tillkommer för att uppfylla de normer som gäller. För att undersöka hur S-50 uppfyller de normer som gäller och se vilka åtgärder som kan vidtas för att uppfylla normerna genomfördes en EMC-undersökning på ett EMC-laboratorium 13-14/9 2005.



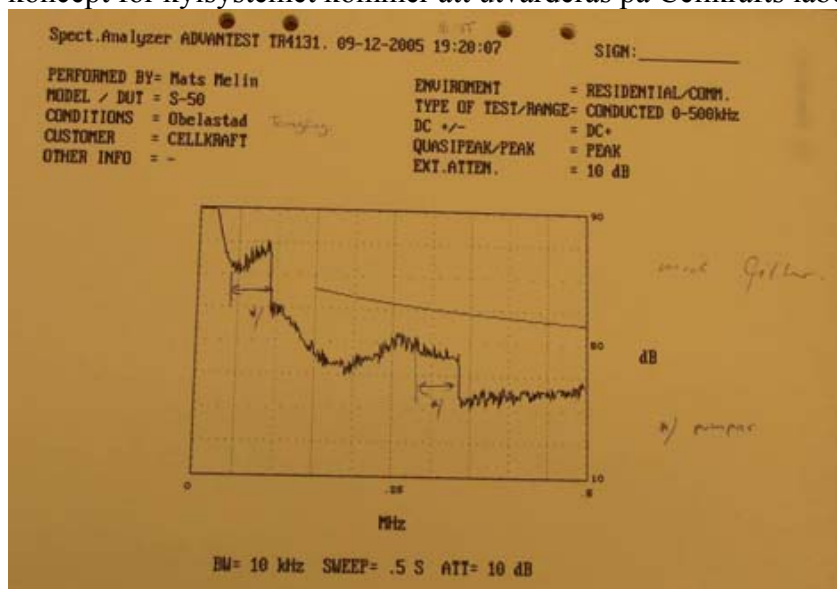
Figur 10. S-50 under EMC-test.

Val av standard

För att få en uppfattning om vilka krav som ställs valde vi att jämföra bränslecellen mot den generiska standarden för EMC. Formellt tillämpas den standarden där det saknas specifika produkt- eller produktfamiljstandarder. Den inlagda kravkurvan är Emissionsstandarden EN 61000-6-3:2001 och gäller störningsnivå i bostäder, kontor och liknande miljöer. Standarden är 10 dB hårdare i sina emissionskrav än motsvarande industristandard, EN 61000-6-4:2001. Vi väljer att jämföra mot den hårdare EN61000-6-3:2001. Kraven enligt den standarden är inritad i resultatgraferna.

Ledningsburna störningar

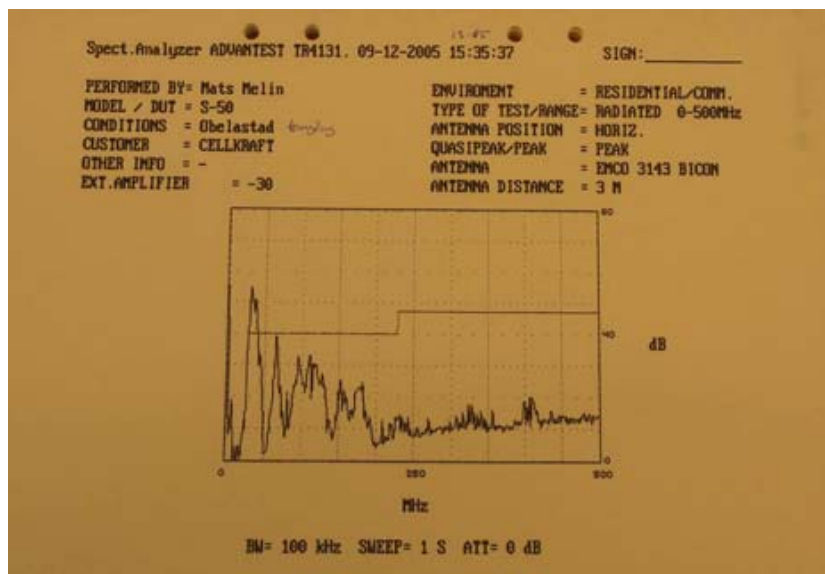
För att klara kraven för ledningsburna störningar konstruerades ett filter för matningsspänningen till styrsystemet. Detta var nödvändigt eftersom två störkällor på kortet annars skulle fortplantera sig ut via ledningarna till batteri och last. Resultatet efter att ha monterat in det nya störningsfiltret var att emissionskraven klarades med god marginal. Pumparna bidrar med en stor del av störningen, men framtiden för den pumptypen är oklar i S-serien. Nya koncept för kylsystemet kommer att utvärderas på Cellkrafts laboratorium under hösten 2005.



Figur 11. Ledningsburna störningar jämfört med krav enligt norm.

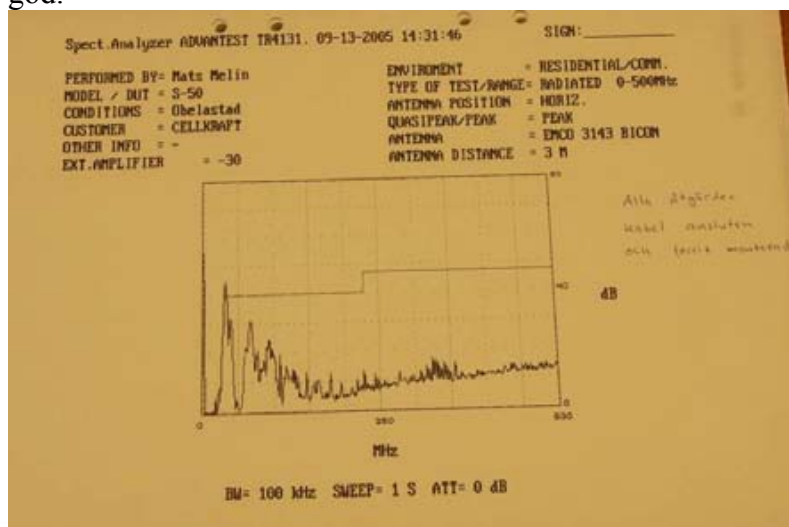
Luftburna emissioner (strålning)

När lådan är jordad och inga kablar är anslutna till bränslecellen var de luftburna emissionerna i praktiken försumbara. Bränslecellen sände inte ut någon strålning alls som kunde störa omgivningen vid drift. Om man däremot kopplade in kablar till batteri och last agerade dessa som antenner och strålningen överskred normen en vid frekvensen 33 MHz:



Figur 12. Luftburna störningar jämfört med krav enligt norm.

Denna kabelburna strålning går att komma tillrätta med på två olika sätt. Det enklaste är att föra utgående kablar genom ferriter som är avsedda att dämpa vid just 33 MHz. Ett annat sätt är att jorda utgående kablar via snabba kondensatorer. På EMC-labbet fanns tillgång till ferriter som inte var optimerade för dämpning kring 33 MHz, men trots det blev dämpningen god.



Figur 13. Kabelburna störningar jämfört med krav enligt norm.

Om man istället använder sig av ferriter som är optimerade för frekvenser kring 33 MHz kommer störningen vid 33 MHz kunna dämpas åtskilligt och troligen hamna väl under kraven för den norm som använts som jämförelsegrund under EMC-testerna.

Slutsatser

De flesta punkter klarades av i målsättningen: systemet utvecklades, byggdes och testades. Omfattande labbtester utfördes för att säkerställa funktion vid minusgrader. Systemet kan flyttas enkelt och fungera i olika miljöer. Däremot lyckades inte målsättningen med autonom drift under tre månader. Systemet stängdes ner redan efter drygt en och en halv månad, endast halva måltiden. Anledningen till nedstängningen var inte att bränslecellen fungerade dåligt, utan på att modemmet slutade fungera. Efter EMC-tester i mitten av september 2005 har systemet åter placerats ut på Lidingö för fortsatt fältprov och efter återinstallationen har ytterligare cirka 1400 driftstimmar ackumulerats.

Bränslecellen har utvecklats från en relativt grov prototyp till en betydligt mer produktnära enhet. Omfattande försök med start i kyla har givit viktiga insikter om hur uppstart i kyla skall kunna utföras utan att riskera degradering av prestanda. EMC-tester visar att bränslecellen klarar kraven i den generiska standarden EN61000-6-3:2001, med endast minimala modifieringar. Modemet som använts bör bytas ut mot ett mer robust.



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