



EUDP j. nr. 63011-0205:

DanDan

Slutrapport

Dantherm Power A/S

[Hobro, 15. august 2012]



Denne slutrapport beskriver et projektsamarbejde mellem Dantherm Power A/S, LeanEco A/S og Aalborg Universitet, Institut for Energiteknologi, hvor der er udviklet brændselscellebaserede nødstrømsforsyninger (backup power og UPS) forsynet med brint fra naturgas, flaskegas eller metanol og resultaterne heraf.

Indhold

1	FORORD	6
2	SAMMENFATNING AF RESULTATER	8
3	SUMMARY AND CONCLUSIONS	10
4	DANDAN : PROJEKTFORLØB	11
4.1	OPTIMERING AF METHANOL POWERPACK	11
4.2	ARCHITECTURAL DESIGN AND TRADE-OFFS	16
4.3	POWER ELECTRONICS PROTOTYPE SYSTEM	22
4.4	POWER ELECTRONICS, TEST AND VERIFICATION OF PROTOTYPES	26
4.5	TELECOM BACKUP POWER ELECTRONICS - INTEGRATION OG TEST	28
4.6	PILOT TESTING – IT BACKUP UNIT	30
4.7	PILOT TESTING TELECOM POWER BACKUP UNITS	32
4.8	METHANOL LOGISTICS	36
5	SAMMENFATNING AF RESULTATER	37
6	BILAG	38

[Blank side]

1 Forord

Formålet med projektet var at udvikle methanol baserede HT-PEM systemer fra R&D stadiet til et stadie hvor systemerne var klar til at indgå i større systemer og dermed bane vejen for et kommercielt produkt.

Til det formål blev der defineret en række arbejdsplaner, der tilsammen skulle danne rygraden i projektet, og sikre at projektet forløb efter den tilrettelagte plan, og samtidig gjorde det muligt at tilpasse projektet til de resultater der blev opnået undervejs. Evalueringen af resultaterne undervejs viste sig, også i dette projekt, at være overordentlig vigtige i forhold til at udnytte ressourcerne optimalt.

Projektet bygger blandt andet på en række resultater opnået via forskningsprojekter støttet via bl.a. FORSKEL, ENS m.fl., samt på en lang og dedikeret udviklingsindsats inden for brændselscellesystemer hos de involverede partnere.

I forbindelse med gennemførelse af de første faser af projektet blev det konstateret at HT-PEM brændselscellerne ikke for nuværende kunne overholde de krav til levetider der vil blive stillet til et kommercielt produkt, og at leverandørerne af brændselscellerne ikke forventede at kunne dokumentere en løsning inden for kort tid. Dette medførte at projektkonsortiet var nød til at redefinere projektet for at opnå størst mulig kommerciel værdi.

Der blev derfor lavet en gennemgang og revidering af projektet og dets mål. Disse ændringer blev godkendt af projektparterne og EUDP.

I forbindelse med denne projektplan blev følgende ændringer vedtaget

Skift til LT-Pem teknologien på brændselscellesiden
Indkøb af reformer til alternativt brændsel - LPG, og test af denne.
Der arbejdes videre med styringsplatform

Antallet af systemer afsat til slutkunder forventedes samlet set at være på ca. 10 stk.

Det grundlæggende formål med projektet er stadig at udvikle og demonstrere produkter baseret på state of the art teknologi, og dermed skabe adgang til markedet for disse produkter for de involverede virksomheder.

[Blank side]

2 Sammenfatning af resultater

I den første fase af projektet er der blevet arbejdet med HT-pem brændselceller i en konfiguration med en methanol reformer. Denne powerblock var udset til at danne ryggraden i indeværende projekt.

Testforløb der skulle belyse både forbedringspotentialer i powermodulet og levetidsforhold for både methanolreformer og brændselcelle blev gennemført, og viste at der var problemer med levetiden for brændselcellen.

Det blev derfor besluttet at ændre projektets fokus og fortsætte med udvikling af konvertere og systemer på basis af en reformer indkøbt fra en underleverandør og lavtemperatur pem brændselceller. Skiftet til en indkøbt reformer har også betydet et skift af brændsel til gasformige brændsler som LPG, hvorfor den del af projektet der specifikt skulle omhandle logistikken omkring methanol, ikke længere er relevant og derfor ikke er behandlet videre i projektet. Brændselcellen der indgår i systemerne er en LT-pem stak der er velafprøvet og som kan betragtes som en standardenhed der leveres af Ballard. Da selve stakken er kendt og betragtes som et standardprodukt er der ikke fokus på stakken i dette projekt.

Projektet har i det videre forløb leveret værdifulde resultater for de involverede partnere, og har resulteret i opbygning og demonstration af et modulært UPS-anlæg der kan benyttes sammen med brændselceller. Dantherm Power har leveret et 5 kW brændselcellemodul baseret på LT-pem teknologien til brug ved demonstration og test af anlægget. Den sammenbyggede enhed er verificeret både ved interne test og ved demonstration hos en tredjepart, hvor der i øjeblikket udføres levetidstest.

Udviklingsforløbet omhandlende DC/DC konverteren der oprindeligt var en del af methanol powerpack'en. Udviklingen fortsatte i projektet uafhængigt af skiftet af teknologi fra HT-pem til LT-pem. Modulet er blevet testet under forskellige forhold og udviklingsforløbet har udmøntet sig i en specifikation af både teknik og testforløb. Modulet er blevet testet både i laboratoriemiljø og demonstreret hos tredjepart. Modulet indgår i de systemer der er beskrevet både i forbindelse med initiale testforløb hos nære projektpartnere og i forbindelse med demonstration hos tredjepart. Modulerne er for nuværende i en demonstrationsfase, samtidig med at de undergår omfattende levetidstest.

De indkøbte reformere indgår i de demonstrationsanlæg der er nævnt i projektet og gennemgår i det forløb en omfattende test og verificering.

[Blank side]

3 Summary and conclusions

In the initial phase of the project, the work was concentrated around the HT-PEM fuel cells in a configuration with a methanol reformer. This power block was chosen to form the backbone of this project.

Testing methods were planned and initiated in order to illuminate both the potential for improvements in the power module and lifetime for both methanol reformer and the HT-pem fuel cell. The outcome of the tests showed that there were problems regarding the lifetime of the fuel cell.

On this basis it was decided to change the focus of the project, and continue development of converters and overall systems, based on a reformer, purchased from a subcontractor. This also meant that the fuel cells changed to low temperature PEM fuel cells. Switching reformer also meant a change of fuel to gaseous fuels such as LPG. The part of the project specifically aimed at addressing the logistics of methanol, is no longer relevant and therefore not considered further on in the project.

The fuel cells now incorporated in the systems are more or less standard units from Ballard. As this unit is well known, the current report does not focus on this part.

The project has provided valuable results for the partners involved, and has resulted in the construction and demonstration of a modular UPS system that can be used with fuel cells. Dantherm Power has provided a 5 kW fuel cell module, based on LT-pem technology, for use in the demonstration and testing facility. The function of the unit is verified by both internal testing and demonstrations from at third parties were it currently is set up to perform tests regarding lifetime.

The development of the DC / DC converter, which originally was part of the methanol power-pack, was continued in the project independently of the change of technology from HT-pem to LT-pem. The module has been tested under various conditions, and the development process has resulted in detailed specs of both technique and test process. The module has been tested both in laboratory environment and demonstrated at third parties. The module is part of the systems described in connection with initial test runs – performed at strategic partners - and in connection with the demonstration of the systems both in Japan and in South Africa. The modules are presently in a stage of demonstration, while subjected to substantial service life tests.

The purchased reformers are part of the systems used for demonstration in the project and as such they will supply valuable data through the comprehensive test and verification program initiated.

4 DanDan : Projektforløb

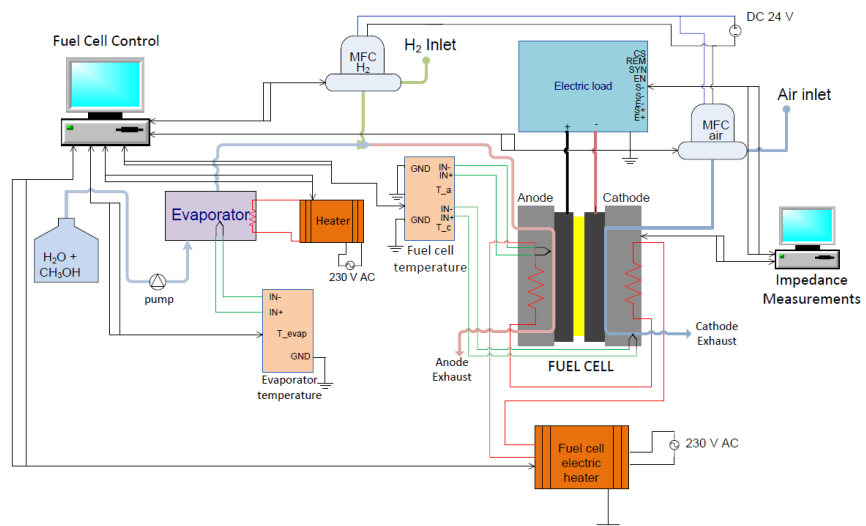
4.1 Optimering af methanol powerpack

Den eksisterende powerpack baseret på HT-Pem brændselsceller blev gennemgået og testet for at verificere holdbarhed og ydelse. Test blev gennemført både af DTP og AAU. Nedenfor er forløbet fra AAU beskrevet, men konklusionen på degradering m.v. er ens i de to forløb.

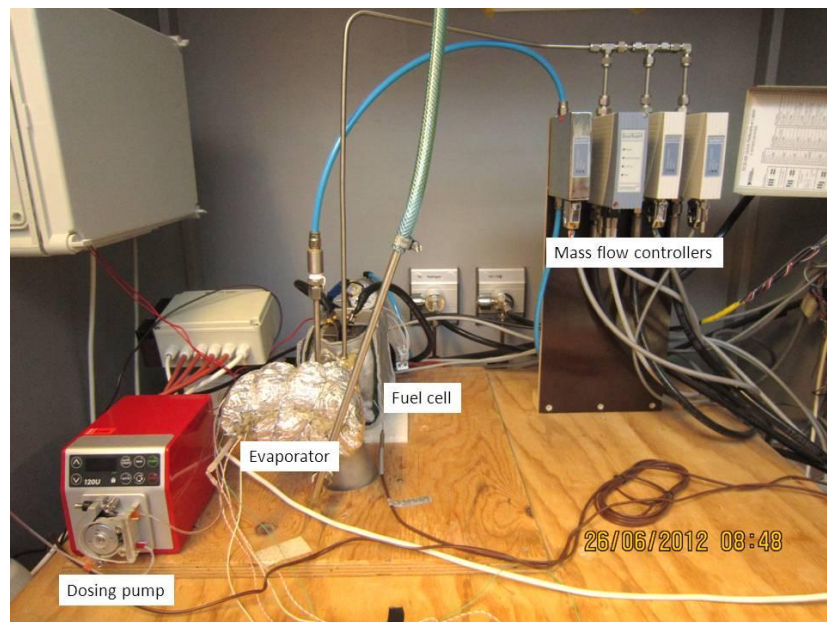
Den grundlæggende analyse af systemets interfaces og krav til fysisk udformning er beskrevet i WP2

Aalborg Universitet har fokuseret på at undersøge ydelse og degradering af HTPEM celler med fokus på indflydelsen af metanol i den brinholdige gas. Denne aktivitet er fortsat i det EUDP støttede projekt COBRA. Motivationen for at undersøge indflydelse af metanol på ydelse og degradering udspringer dels af ovenstående og dels af et indlæg fra UltraCell (HTPEM metanol systemer) ved 218th ECS Meeting i Las Vegas 2010, "Understanding the impact of dynamic operating conditions on high temperature PEFC systems", hvoraf det fremgik at metanol i reformatet kan forårsage kraftigt accelleret degradering.

For at kunne udføre disse test har det været nødvendigt at udvikle en forsøgsopstilling, som gør det muligt at fordampe meget små mængder metanol i anodegassen. Forskellige teknikker er afprøvet, hvilket er beskrevet i artiklen: "Vapor delivery systems for the study of the effects of reformate gas impurities in HTPEM fuel cells" som er publiceret i Journal of Fuel Cell Science and Technology, 2012. Det viste sig at en doseringspumpe koblet med en fordamper gav det bedste resultat med hensyn til at opnå kontrolleret og stabilt flow af metanol. Nedenstående figurer viser hhv. en skitse af opstillingen (Figur 1) og et billede (Billede 1) af laboratorieopstillingen.



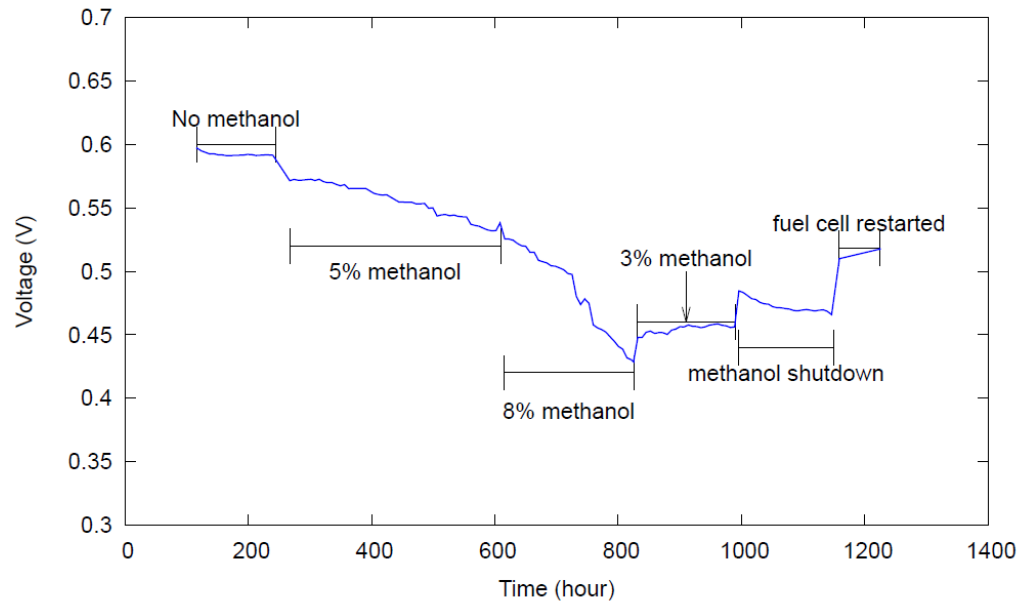
Figur 1: Forsøgsopstilling til brug ved undersøgelse af effekten af methanolrest i anodegassen på HT-pem brændselsceller.



Billede 1: Billede af forsøgsopstilling - undersøgelse af effekten af methanolrest i anodegassen på HT-pem brændselsceller.

Der er gennemført test af en HTPEM celle over 1200 timer ved en temperatur på 160°C og en strøm tæthed på 0,4 A/cm² med varierende mængde metanol tilsat brinten. Efter indledende break-in af cellen blev der først tilsat 5 %vol metanol og dernæst 8 %vol metanol. Her efter blev mængden af metanol reduceret først til 3%vol og dernæst helt fjernet for at undersøge hvorvidt degraderingen var reversibel. Som det ses af nedenstående Figur 2 medfører høje koncentrationer af metanol (5-8 %vol) kraftig degradering. Denne degradering er delvist reversibel såfremt cellen efterfølgende forsynes med ren brint.

Efter genstart af cellen blev der observeret betydeligt forbedret ydelse. Årsagen her til er ikke endeligt fastlagt, men det kan skyldes effekter tilsvarende det, der observeres ved CO forgiftning.



Figur 2: Effekt af methanol i anodegas - HT-pem brændselscelle

Afslutningsvis kan det fremføres at drift af cellen ved metanolkoncentrationer lavere end 2-3 %vol ikke synes at påvirke levetiden i højere grad end det kendes fra CO. I forhold til design af et system vil udfordringerne være at undgå perioder med høje metanol og CO koncentrationer var start, stop og lastændringer. Det vil desuden være vigtigt at tage højde for stigende mængde af omsat metanol efterhånden som reformeringskatalysten degraderes.

Yderligere diskussion af denne aktivitet findes i to artikler som på nuværende tidspunkt er klar til indsendelse til et videnskabeligt tidsskrift.

Nedenstående skema opsummerer de overordnede systemkrav, primært inden for områderne nævnt i nedenstående tabel:

Area	Requirements	Specific requirements
Operating conditions	Indoor environment	Controlled temperature 0-40 degrees C Humidity. Non-condensing
Plug&Play requirements	LeanEco applies a modular architecture that allows to install generator modules over time	This requires a physical module for rack mount in a 19" rack As a preference, all connections must be at back side of module
Start-up time	Generator module must be able to start as fast as possible in order to allow for a minimum of battery capacity	<5 minutes (cold start)
Power endurance and dynamics	The fuel cell module shall be possible to sustain power production	Due to system architecture, requirements on the fuel

	according to the applied loads, including load steps	cell are relaxed since the built-in batteries can sustain power to compensate for any fuel cell power deficiencies
Size and compactness	The generator module should be as small as possible in order to support the concept of modularity	IT / server room app. 10 kW (AC equivalent) 19" rack mount module 10-12 U building height Telecom app., 1 to 5 kW
Heat rejection	Compact Works at any reasonable ambient temperature Low cost Preferably the same unit for any system size (scalable)	Temperature in the range of >100 degrees C Use of automotive radiator(s)
Fuel	Must be liquid fuel with an attractive energy density	MeOH/Water

Systemets arkitektur kom til at betyde, at de dynamiske krav til brændselscellemodulerne kunne reduceres betragteligt, ligesom det reducerede behovet for modellering af de dynamiske forhold betragteligt.

Som overordnet konklusioner kan summeres, at de væsentligste udfordringer med henblik på at opnå synergi ligger inden for modulets effektmæssige kapacitet, hvor Telecom ofte ligger i området 1-5 kW, mens IT applikationer starter ved ca. 10 kW.

Desuden gælder der, at valget af brændstof drives af forskellige hensyn:

Komprimeret brint vil kunne anvendes til Telecom applikationer uden de store udfordringer. Det skyldes, at effektniveauet er så lavt, at de fleste ønsker til drifttid ("runtime") kan honoreres med håndterbare brintlager installationer, dog er dette ikke tilfældet for afsides liggende installationer hvor brændselscellen fungerer som hovedforsyning.

IT anvendelserne kræver ofte effekter i størrelsesordenen 10-100 kW og en "runtime" i området 4-48 timer alt efter anvendelsens type. Det kan give anledning til særdeles upraktiske, dyre og nogle gange ikke-kausale installationer (hvor man ikke kan få godkendt installation af hensyn til sikkerhed, udseende, størrelse etc.).

Begge anvendelsesområder kan drage fordele af MeOH og/eller LPG's energitæthed.

Energy storage																								
	10 kW in 1 hour (per bottle)																							
	Runtime																							
Power	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36
20	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
25	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	60
30	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72
35	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	42	46	49	53	56	60	63	67	70	74	77	81	84
40	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96
45	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90	95	99	104	108
50	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
55	6	11	17	22	28	33	39	44	50	55	61	66	72	77	83	88	94	99	105	110	116	121	127	132
60	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144
65	7	13	20	26	33	39	46	52	59	65	72	78	85	91	98	104	111	117	124	130	137	143	150	156
70	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168
> 10																								

Figur 3: Et simpelt overslag over antallet af brintflasker til brug for IT anvendelser, her afbildet som funktion af effekt [kW] og "runtime" [timer]. De med rødt markerede er større end 10 flasker (std. cylindre, 200 bar trykflasker).

Konsekvensen af Figur 3 er umiddelbart, at der vil være en stor del af anvendelserne/markedet, hvor en løsning baseret på brint næppe er attraktiv.

Den overskyggende konklusion på arbejdsplan 1 er dog problemerne med levetid af HT-Pem powerpacken når denne forsynes med reformat baseret på MeOH. Dette har medført at man i det videre projektforsøg fokuserer på andre brændselscelletyper – og dermed også på en anden forsyningskilde hvad angår brændstof, da et skift til en robust og velafprøvet reformer beregnet til LT-Pem vil kræve et brændstof som LPG, der til gengæld er tilgængeligt kommercielt på de fleste lokationer.

4.2 Architectural Design and Trade-offs

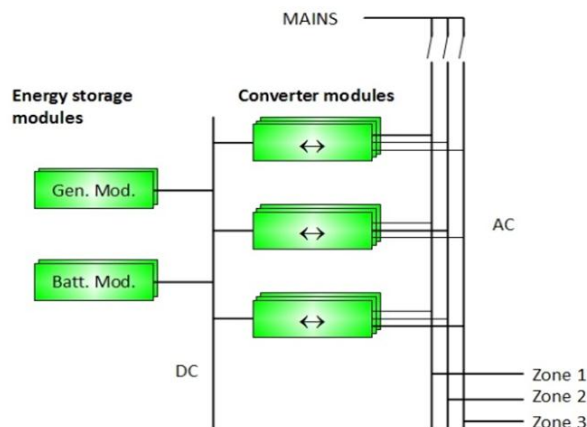
Arbejdsplanen 2 har resulteret i grundlaget for en specifikation af de elektroniske dele der indgår i systemerne.

Grundet ændringerne i projektet er der til IT applikationer fokuseret på et modulært system der er forberedt for senere integration af brændselsceller og til telecom applikationer er der fokuseret på opbygningen af et DC/DC modul der kan indgå som byggesten for brændselscellegeneratorer.

For DC/DC konverteren til brændselscellegeneratoren er status at der er udarbejdet en kravspecifikation der angiver relevante produktionsdata. Spec-en omhandler både interne og eksterne krav til modulet, såsom relevante standarder der skal overholdes, hvilket miljø den skal integreres i og de rent tekniske specifikationer der skal overholdes for at produktet kan anvendes.

En stor del af kravene der skal overholdes er sammenfaldende med de krav der er til IT nødstrømsanlæggene – og de er derfor indeholdt i den generelle beskrivelse der er i nedenstående afsnit.

4.2.1 Basic functions and architecture



Figur 4: Systemets grundlæggende arkitektur.

IT nødstrømsanlægget baserer sig på et system, patenteret af LeanEco, der er en innovativ videreudvikling af den modulære UPS. Systemet har alle de kendte fordele ved de modulære UPS, plus intrinsiske arkitektoniske fordele som

Væsentligt forbedret opetid
Lavere kompleksitet
Højere virkningsgrad.

Hertil kommer nogle "new-to-the-world" features som:

Virtualisering af power infrastrukturen
Alle power moduler indgår i en "pool", hvorfra der kan allokeres kapacitet eller redundans til forskellige formål
Multiple udgange ("zoner"), der hver især kan skræddersys efter kundens behov – også under drift
Oppetids-boost – anlægget kan selv flytte hardware i tilfælde af modulfejl – og derved f.eks. reetablere redundans i henhold til de fastsatte prioriteter
Indbygget, modulær generator
Kan dimensioneres til det konkrete netto-behov
Kan tilføjes over tid ("pay as you grow")
Cleantech – baseret på brændselsceller.

Anlægget bygger på følgende moduler:

Modul	Beskrivelse
Rack unit	Omfatter tilslutning til elforsyningen samt de centrale styringer af anlæggets funktioner Bagplan og rack for plug&play isætning af moduler af alle nedenstående typer
Power Conversion Module (P&P)	To-vejs konverter, der kan virke som ensretter eller som inverter (retningen styres af software) Kan bringes til at vælge hvilken zone den er tilsluttet (styres af software) AC side: 3 x 230 VAC DC side: ± 400 VDC
Battery Module (P&P)	Korttids energilager, der understøtter lasten så længe batterierne er opladede Når der er installeret en generator, skal de opretholde lasten indtil generatoren er startet og producerer den nødvendige effekt
Fuel Cell Generator Module (P&P)	Generator, der tager over efter batterierne, således at lasten opretholdes også når netudfaldet varer længere end batteriernes "runtime"

- Brændstoftankens størrelse kan holdes på et sammenligneligt (og dermed attraktivt) niveau sammenlignet med f.eks. dieseldrevne generatoranlæg. Det skyldes, at den lavere energitæthed i MeOH/Vand brændstoffet i nogen grad udlignes af den højere virkningsgrad. Størrelsen af brændstoftanken ved brug af LPG vil være mindre end tilsvarende dieseltank.
- Mængden af varme, der afgives af brændselscelle generatoren i drift, kan normalt ikke forventes at kunne afgives i serverrummet. Den skal bortskaffes uden for rummet.
- Så længe prisen er høj på brændselsceller, vil det kunne betale sig at anvende/udvikle effektive konvertere. I dette eksempel taber man ca. 8% af den effekt, som brændselscellen leverer. Selv med en fremtidig brændselscellepris på 500 Euro/kW vil man kunne få f.eks. 20 Euro/kW til at halvere tabet i konverterne.

4.2.4 Failsafe aspects and solutions

Systemets arkitektur er baseret på et antal moduler, der alle kan operere i parallel. Dermed understøttes redundante konfigurationer som

N+1 (kan tolerere tab et eet modul)

N+2 (kan tolerere tabet af to moduler).

Redundansen opnås ved at isætte ekstra moduler (gælder alle typer af Plug&Play moduler).

Desuden vil der i systemet som udgangspunkt kunne være et antal såkaldte "single-point-failures" (SPF), dvs. enkeltfejl, der foranlediger et funktionssvigt (tab af lasten).

En stor del af disse SPF er imødegået ved at indbygge redundans i systemets styremodul: Systemets strømforsyning til styring i alle moduler er redundant (to uafhængige busser, der hver især fødes fra to uafhængige kilder (DC bus og AC forsyningsnettet).

4.2.5 Dimensioner

Anlæggets dimensioner er valgt således:

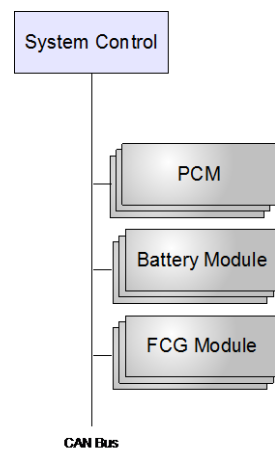
Modul	Dimensioner
Rack unit	2000 x 600 x 1000 mm (H x B x D)
Power Conversion Module	2U x 19" x 800 mm
Battery Module	8U x 19" x 800 mm
Fuel Cell Generator Module	12U x 19" x 800 mm

4.2.6 System controller

Systemet styres via en central controller, der kommunikerer med de øvrige moduler via en CAN bus.

Controlleren har et større antal analoge og digitale indgange og udgange, der anvendes til f.eks.

- Måling af strøm, spænding og temperatur
- Styring af relæer
- Styring af blæsere
- Styring af LED display
- Tænd/sluk kontakter.



Figur 6: Skematisk overblik over kommunikationsstruktur i systemerne

DC/DC konverteren i brændselscellemodulet kommunikerer med brændselscellens styring via RS-485 forbindelse. Via denne forbindelse kommunikeres både måleværdier og setpunkter m.v. internt i brændselscellemodulet.

4.2.7 Safety aspects and standards

Følgende grundlæggende emner skal tages til efterretning i forhold til sikkerhedsaspekter og standarder:

Sikkerhed (Spænding, mekanisk stabilitet, marking, creeping distances, isolationsafstande)
Ydelse / Performance og test-metoder
Holdbarhedstest.
EMC krav og test.

For DC/DC konverteren til brændselscellerne applicationer disse grundlæggende emner, i en række standarder – i udrag kan nævnes:

EN/IEC 60950-1
EN/IEC 61000-6-2 &3
RoHS
UL/CSA -godkendelser
m.fl.

Det samlede UPS-system skal overholde IEC 62040, der også omfatter ovenstående aspekter.

4.3 Power electronics prototype system

Hovedformålet har været

- At etablere konverteren, så man kunne demonstrere “proof of concept”
- At skabe et solidt grundlag for den efterfølgende produktudvikling, primært ved at fokusere på de mest kritiske dele af udviklingen.

Den overvejede aktivitet har været systemdesign samt udviklingen af et to-vejs konverter modul på 10 kW.

Systemet er opbygget i et standard IT rack.

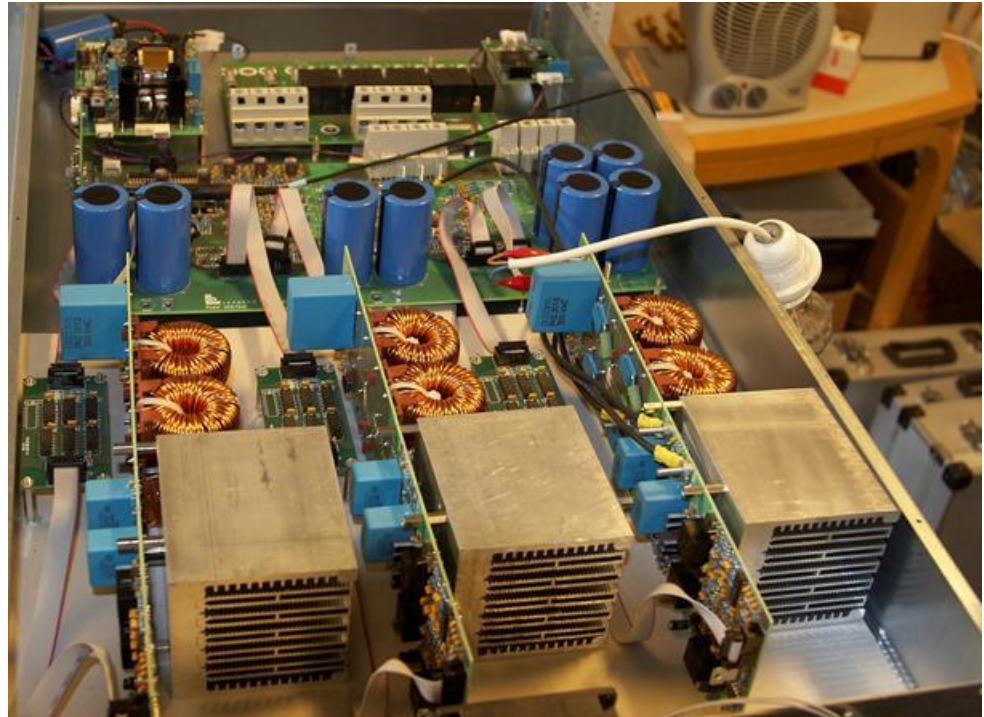
Modulerne køles ved at der suges kold luft ind forfra og udsendes opvarmet luft bagud – samme princip som for servere.



Billede 2: System rack'et med enkelte konverter moduler isat.

4.3.1 Konverter Modul (PCM)

Modulets nøglespecifikationer er sammenfattet i et internt notat, og resultatmæssigt er det lykkedes at konstruere en særdeles robust og højtydende konverter. Der er f.eks. målt en særdeles lille temperaturstigning på kølepladerne ved fuld last (under 5 grader). Konverterens nominelle effekt er 11 kW, men modulet er reelt dimensioneret til at yde 15 kW kontinuerlig drift.



Billede 3: Konverter prototype. I forgrunden de tre konverter broer (een for hver fase), bagved er styrekortet. (Billedet er taget under en test).

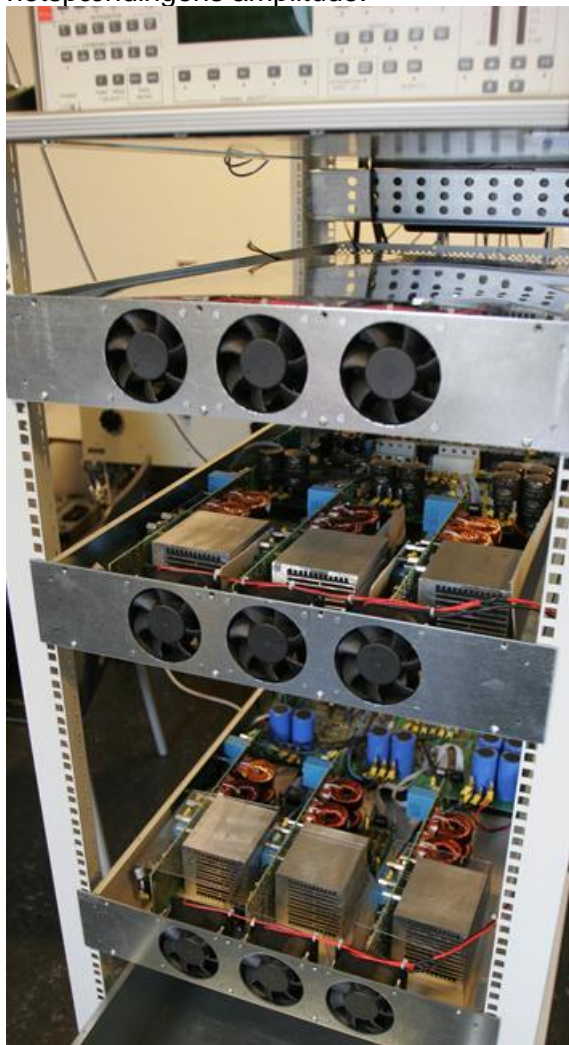
4.3.2 Rack og system

Prototypen af Rack'et blev ikke fra starten forsynet med et back plane, således at modulerne blev forbundet indbyrdes med kabler i stedet for skinner.

Systemet er testet succesfuldt med henblik på "proof of concept". Der er testet i følgende "operational modes":

- Power konverter moduler
- Paralleldrif af power moduler (som invertere hhv. ensrettere)
- Double Conversion UPS drift (et modul som ensretter, et andet som inverter)
- Batterimodul
- Med batterier installeret
- Uden batterier installeret.

Der er benyttet en simpel algoritme for detektering af netudfald, baseret på netspændingens amplitude.



Billede 4: Prototype system rack med tre power moduler monteret.

4.3.3 Implementering af systemets styring

Der er udviklet en protokol, som muliggør at anlægget autonomt kan forsynes med strøm fra forskellige kilder – I prioriteret rækkefølge. Det betyder, at anlægget tager strøm fra kilderne i henhold til denne rækkefølge (starter øverst):

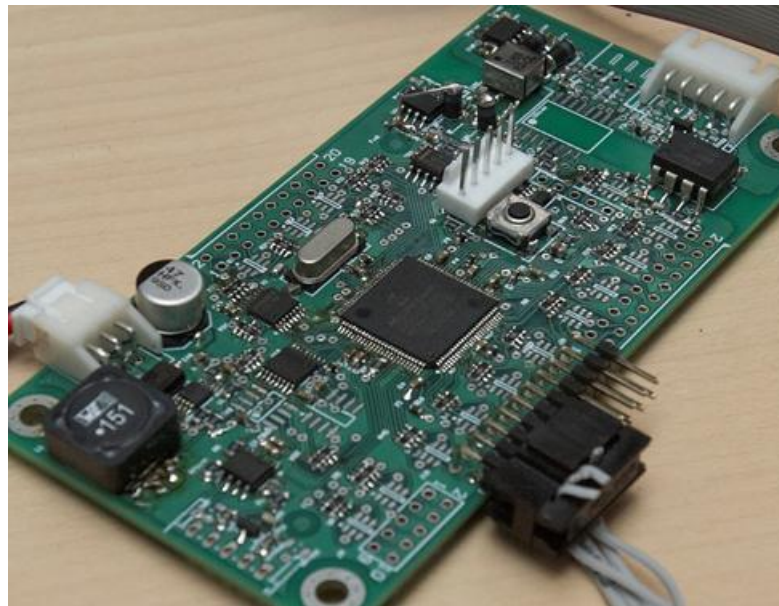
Elforsyningen (dvs. gennem en ensretter konverter modul)
NB: dette indbefatter også brug af almindelig diesel generator
Brændselscellegenerator
Batterier.

Når netforsyningen så falder ud, vil strømmen leveres af batterierne, indtil brændselscellegeneratoren tager over.

Protokollen muliggør, at der er stor frihed med henblik på valg af energikilde, således kan der f.eks. relativt ukompliceret tilkobles brændselsceller af meget forskellig teknologi.

At batterierne er koblet fast på DC bussen betyder, at eventuelle udfald eller dynamiske begrænsninger i brændselscelle generatormodulet vil blive kompenseret for af batterierne.

Hvis batterierne under ø-drift aflades til under en given minimumsspænding, vil anlægget lukke ned.



Billede 5: Kort med kontrolleren. Der anvendes samme kontrollere HW i alle moduler, men med modul-specifik software i hvert modul.

Den anvendte processor er en såkaldt DSPIC fra Microship, der har indbygget CAN bus, ligesom den er veludstyret med henblik på sandtidsapplikationer som PWM modulation.

4.4 Power electronics, test and verification of prototypes

Den udviklede DC/DC konverter til brændselscellemodul har i forbindelse med projektet gennemgået et forløb der har resulteret i en inverter der kan bruges til modulær opbygning af brændselscellegeneratorer. Oprindeligt var konverteren en del af methanol power-pakken, men med ændringen af projektet og dermed udfasningen af HT-pem brændselscellen fra projektet, blev arbejdet med DC/DC konverteren fortsat.

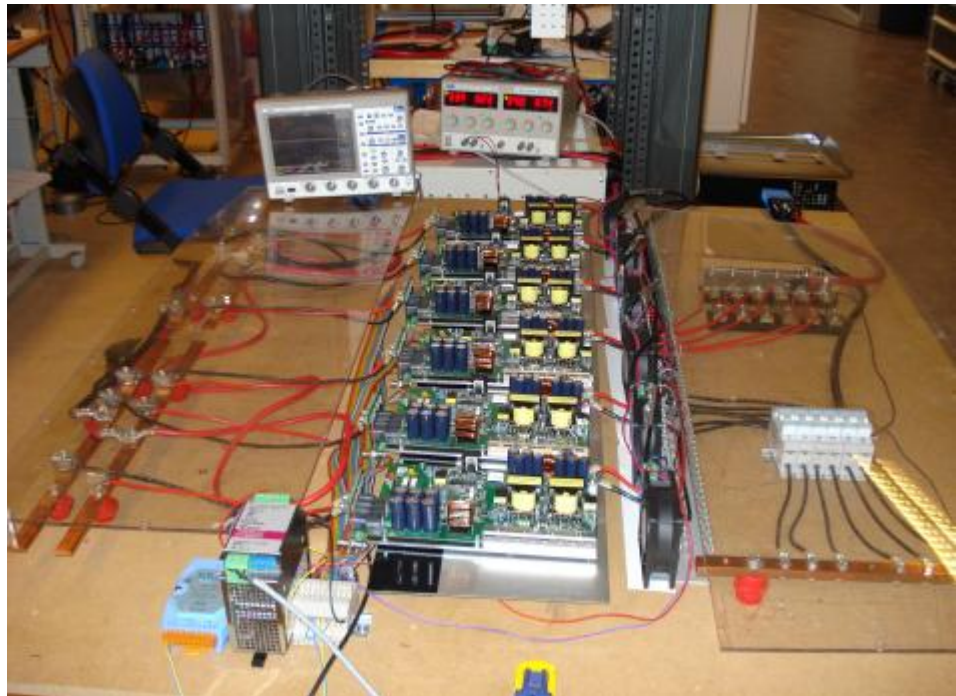
Konverteren er baseret på et 1 kW modul der kan kobles parallelt til den ønskede størrelse opnås.

Konverteren har gennemgået flere testforløb – og er for nuværende i færd med at afslutte levetidstest der skal dokumentere holdbarheden af modulet - Figur 7 viser et eksempel på test der er gennemført.

- 1) **Functionality test.**
 - a. Communication with controller, start stop, measurements (currents, volts)
 - b. Safety/error modes shut down
- 2) **Static tests.**
 - a. Voltage/current window – input/output
 - b. Efficiency verification/ Locate maximum efficiency point
 - c. Thermal measurements on critical components
 - d. Current sharing
 - e. Different current setpoints
- 3) **Dynamic tests (stability).**
 - a. Stepresponse
 - b. Phase/gain
 - c. Phase/gain at simulated output fuse blow.
- 4) **Test on converters under fault condition**
 - a. 1 DCDC breakdown
 - b. 3 DCDC breakdown simulate one stack breakdown (disconnected).
 - c. Short circuit of DC bus output
 - d. Short circuit of current share connection.
 - e. Disconnection of current share connection.
 - f. Short circuit of RS485 connection.
 - g. Disconnection of RS485 connection.
- 5) **Accelerated stress test.**
 - a. Load cycling
 - b. Thermal cycling
 - c. Mechanical stressing
- 6) **Tests according to standards**
 - a. EMC
 - b. Vibration
 - c. Clima
- 7) **Test in real applications**
 - a. Backup
 - b. Battery charger
 - c. Converter used together with grid inverters.

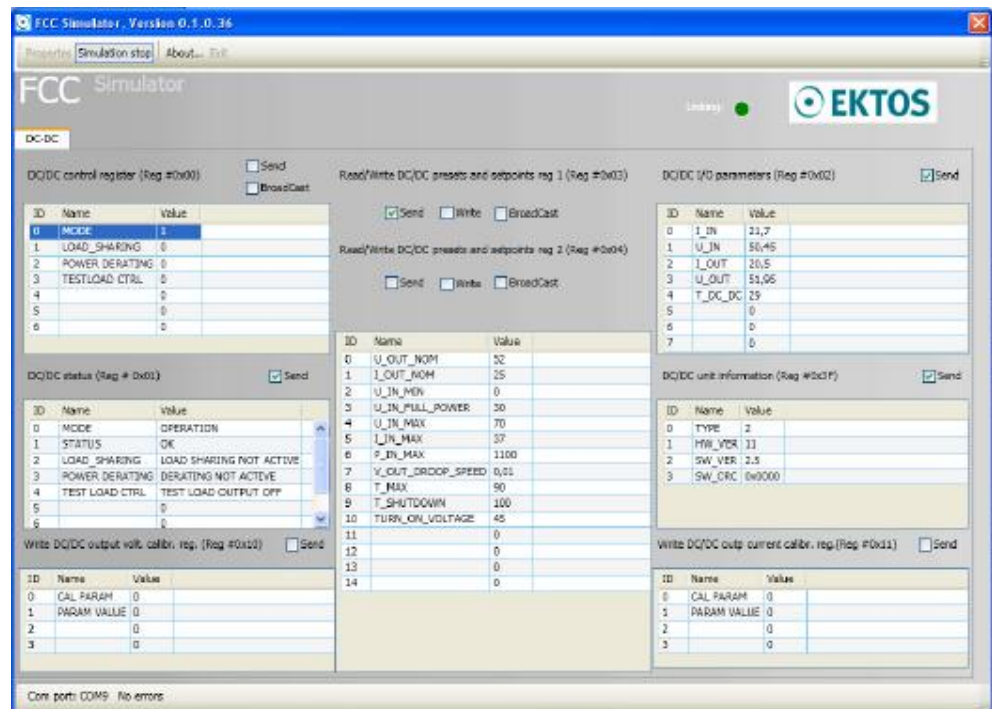
Figur 7: Eksempler på testkategorier konverteren har gennemgået.

Billede 6 er taget i forbindelse med et af testforløbene på konverterne



Billede 6: Testopstilling af 6 DC/DC konvertere koblet parallelt

Ved test af konverterne er der blandt andet anvendt simulatorer programmeret i LabView eller FCC-controller program fra Ektos – Billede 7 – viser et skærmbillede fra det sidst nævnte program.



Billede 7: Skærmbillede fra EKTOS FCC simulator der benyttes til testforløbet.

4.5 Telecom backup power electronics - integration og test

For at teste inverterne / power elektronik som specificeret og bygget i forbindelse med WP3, er disse blevet integreret i systemer der er blevet testet hos slutbrugere.

Testen har fokuseret på power-elektronikken og dennes samspil med et brændselscellesystem under realistiske driftskonditioner. Nedenstående billeder er eksempler på installationerne.



Billede 8: Back-up system installeret hos dansk kunde.

På Billede 8 er vist et 5 kW back-up system hvor powerelektronikken er installeret og hvor funktion og samspil mellem systemerne er verificeret.

Billede 9 viser et billede af flere systemer monteret i en klynge på 30 kW. Denne installation har eftervist samspillet mellem de enkelte powermoduler i både 5 kW moduler og sammenkoplingen af systemerne i større enheder



Billede 9: 30 kW anlæg installeret hos tysk kunde

Testen har bidragt værdifuld viden i forbindelse med produktionsmodningen af effekt elektronikdelen, og har demonstreret både pålidelighed og funktion i systemer der har fungeret uden for udviklingslaboratoriet.

Oprindeligt skulle forsyningen af brændstof / methanol have indgået i denne test, men grundet ændringen tidligere i projektet, er dette punkt ikke længere relevant, da der i det videre projektforsløb arbejdes med LPG.

4.6 Pilot testing – IT backup unit

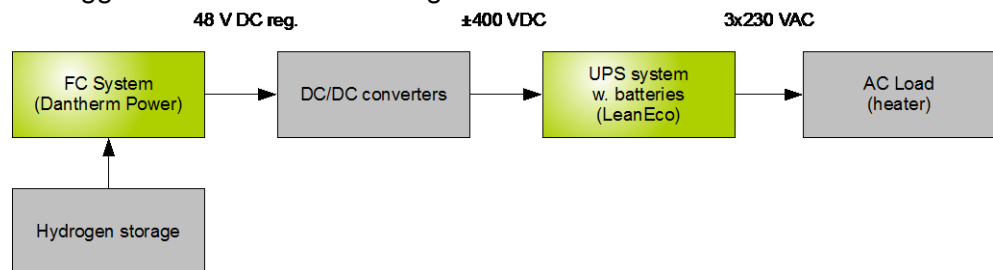
Der er opbygget en testopstilling for en funktionel integrationstest af et anlæg bestående af

- LeanEco nødstrømsanlæg
- Dantherm 5 kW brændselscellemodul
- Schaefer K1148 DC/DC converter.

Af praktiske årsager blev anvendt et næste-generationens nødstrømsanlæg (pilotanlæg), der er baseret på prototypen I DanDan projektet, men adskiller sig ved følgende:

- Elektronikken er produceret hos LeanEco's leverandør (ETK i Skanderborg) – prototypen er håndbygget
- Der er implementeret en del omkostningsreduktioner (samling af flere PCBA til eet, skift til SMT etc.)
- Rack'et har fået et backplane
- Udseendet er ændret.

Anlæggets overordnede blokdiagram er vist her:



(Nødstrømsanlægget er fysisk placeret hos GreenHydrogen, hvor det kører levetidstest).

Anlægget kan demonstrere de basale funktioner som:

- Alm. UPS drift, herunder skift til \emptyset -drift
- Opstart af brændselscellegenerator og fødning af anlægget med strøm fra brændselscellegeneratoren under \emptyset -drift.

Da brændselscellen kan levere maksimalt 4 kW DC er anlæggets belastning under de funktionelle test lavet ved tilsvarende reduceret belastning.



Billede 10: IT power systemet i test opstillingen. Anlægget er bestykket med et styremodul (øvets) samt to power moduler (inverter hhv. ensretter) og kan i denne konfiguration fungere som en 10 kW dobbelt konversion UPS.



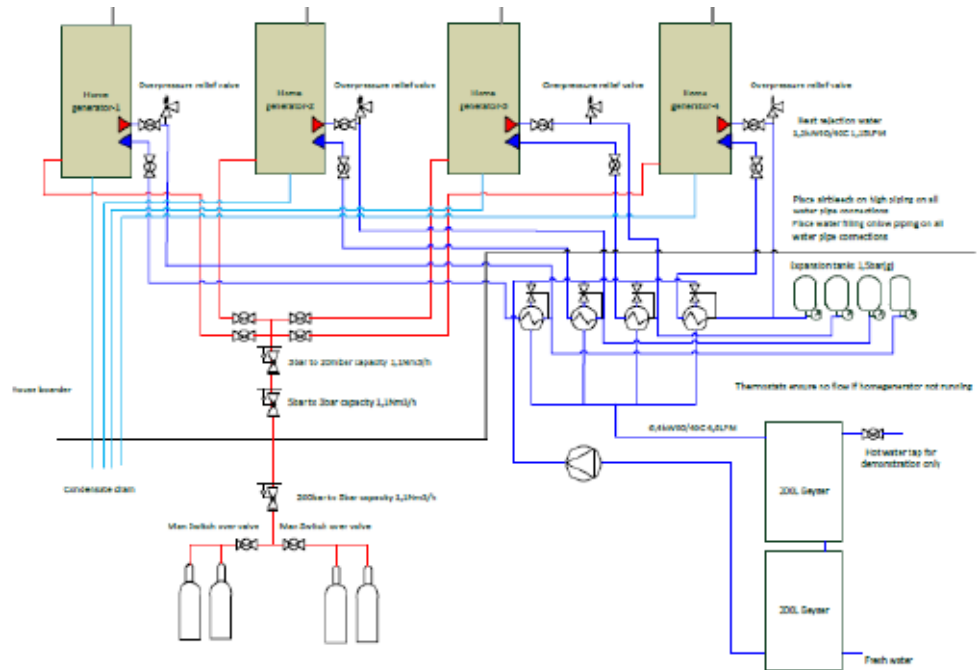
Billede 11: Schaefer DC/DC konverter.



Billede 12: Dantherm Power's brændselscelleanlæg med brintlager.

4.7 Pilot testing telecom power backup units

Demonstration og test af komplette systemer er udført på flere lokationer. Nedenstående installation (lokation nr. 1) består af 4 systemer installeret i en klynge. Systemerne er forsynet med gas / CH₄ fra trykbeholdere da der ikke er et distributionsnet for gas / naturgas i området – se Billede 13 der viser principperne i systemernes konfiguration.



Billede 13: Konfiguration af de testede brændselscelleanlæg, lokation nr. 1

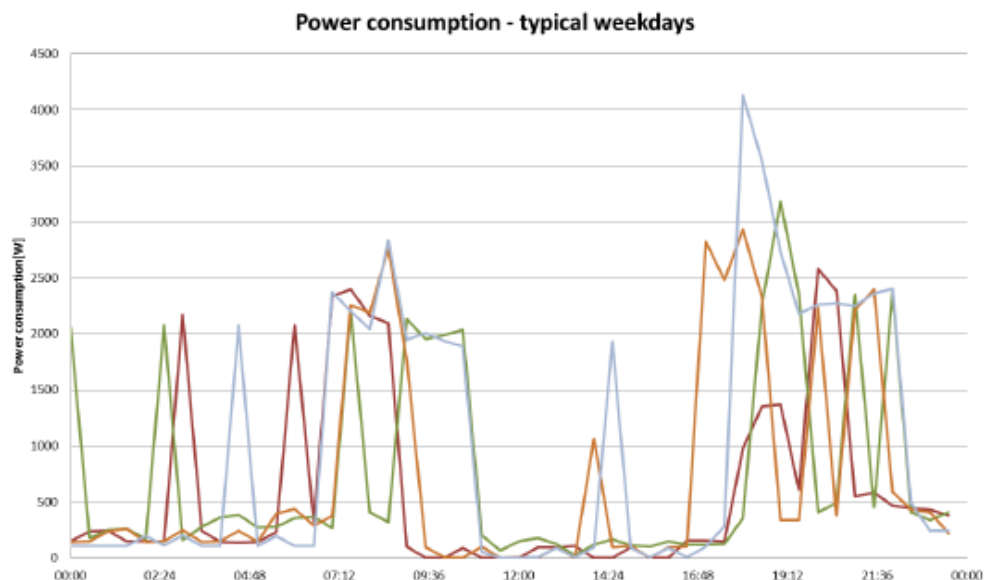
Billede 14 er fra installationen af de fire anlæg. Anlæggene er installeret i Northam, Limpopo i sydafrika. Brændselscellesystemerne monitoreres via den touch-screen pc der kan ses på Billede 14. Ved hjælp af programmet teamview kan man styre anlæggene via internettet



Billede 14: Installation af 4 brændselscelleanlæg, sydafrika

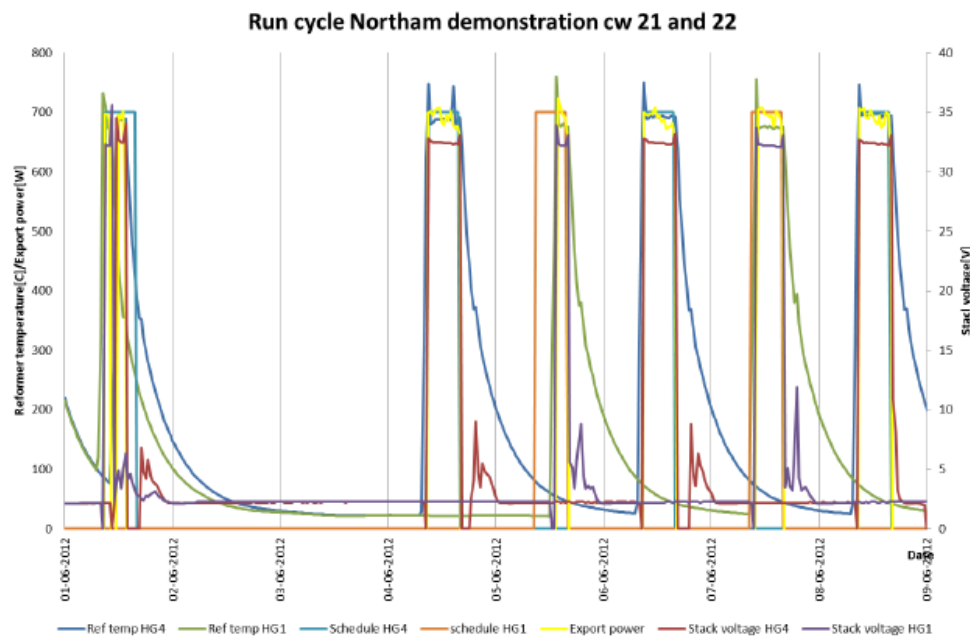
Testen har leveret værdifulde informationer om både opstart og drift af systemerne, samt levering af el – et eksempel på en belastningskurve kan ses på Billede 15.

Systemerne har efter en kort indkøringsfase været i drift i henhold til det planlagte og vil i fremtiden blive idriftsat og monitoreret i henhold til aftalen med kunden.



Billede 15: Eksempel på belastningskurve

I forbindelse med testen har systemerne demonstreret opetider på 95%, og vist at 88% af gasforbruget bruges ved drift af anlægget. Billede 16 viser driften af anlæggene i en udvalgt periode, og på billedet kan bl.a. anlægenes eksporterede effekt aflæses.



Billede 16: Drift af systemerne - uge 21 og 22

Lokation nr. 2 (se Billede 18) er en installation der indgår i en kompleks opsætning der indeholder flere forskellige enheder til produktion af el – inklusiv vindmøller og solceller.



Billede 17: Installation der venter på de genopbyggede brændselscellesystemer på lokation nr. 2



Billede 18: installation af brændselsceller på lokation nr. 2

Kasserne på billedet symboliserer brændselscellesystemerne, og disse blev installeret, da der opstod problemer i forbindelse med leveringen af systemerne fra Dantherm. Systemerne blev sendt pr. luftfragt, og i forbindelse med håndteringen i selve lufthavnen blev systemerne væltet. Som det kan ses på Billede 19 er der der skader på selve kabinettet – og skaderne på udstyret var så store, at systemerne måtte tilbage på DTP's værksted og genopbygges.

Dette har betydet en forsinkelse af idriftsættelsen på flere uger, hvorfor det ikke er muligt at medtage resultater fra driften af disse systemer i denne rapport.



Billede 19: Brændselscelleenheder skadet under transport

Brændselscelleenhederne er en del af en forsøgsinstallation / energiforsyning på demonstrationsstadiet for industriel dyrkning af frugt / bær i et lukket fabriksmiljø baseret udelukkende på kunstigt lys.

Anlægget er opbygget med det formål at installationen skal være selvforsynende med energi, og vil, når det er i drift, fungere i ø-drift sammen med de andre elforsyningsanlæg der er installeret. Grundlæggende skal solceller stå for elproduktionen når der er tilstrækkeligt med dagslys, vindmøller leverer el afhængig af vind og brændselscellerne skal så producere el når der ikke er dagslys eller vind nok.



Billede 20: Brændselscellesystemer klar til afsendelse efter genopbygning

Det er med stor interesse at den videre drift af anlæggene følges, og udover driften af anlæggene er det interessant, at det er lykkedes at få et dansk produceret anlæg installeret i forbindelse med et Japansk fremtidsorienteret projekt.

4.8 Methanol logistics

I forbindelse med ændringen af projektet, er methanol ikke længere relevant som brændstof, hvorfor dette punkt ikke behandles videre i dette projekt.

5 Sammenfatning af resultater

I den første fase af projektet er der blevet arbejdet med HT-pem brændselceller i en konfiguration med en methanol reformer. Denne powerblock var udset til at danne ryggraden i indeværende projekt.

Testforløb der skulle belyse både forbedringspotentialer i powermodulet og levetidsforhold for både methanolreformer og brændselcelle blev gennemført, og viste at der var problemer med levetiden for brændselcellen.

Det blev derfor besluttet at ændre projektets fokus og fortsætte med udvikling af konvertere og systemer på basis af en reformer indkøbt fra en underleverandør og lavtemperatur pem brændselceller. Skiftet til en indkøbt reformer har også betydet et skift af brændsel til gasformige brændsler som LPG, hvorfor den del af projektet der specifikt skulle omhandle logistikken omkring methanol, ikke længere er relevant og derfor ikke er behandlet videre i projektet. Brændselcellen der indgår i systemerne er en LT-pem stak der er velafprøvet og som kan betragtes som en standardenhed der leveres af Ballard. Da selve stakken er kendt og betragtes som et standardprodukt er der ikke fokus på stakken i dette projekt.

Projektet har i det videre forløb leveret værdifulde resultater for de involverede partnere, og har resulteret i opbygning og demonstration af et modulært UPS-anlæg der kan benyttes sammen med brændselceller. Dantherm Power har leveret et 5 kW brændselcellemodul baseret på LT-pem teknologien til brug ved demonstration og test af anlægget. Den sammenbyggede enhed er verificeret både ved interne test og ved demonstration hos en tredjepart, hvor der i øjeblikket udføres levetidstest.

Udviklingsforløbet omhandlende DC/DC konverteren der oprindeligt var en del af methanol powerpack'en. Udviklingen fortsatte i projektet uafhængigt af skiftet af teknologi fra HT-pem til LT-pem. Modulet er blevet testet under forskellige forhold og udviklingsforløbet har udmøntet sig i en specifikation af både teknik og testforløb. Modulet er blevet testet både i laboratoriemiljø og demonstreret hos tredjepart. Modulet indgår i de systemer der er beskrevet både i forbindelse med initiale testforløb hos nære projektpartnere og i forbindelse med demonstration hos tredjepart. Modulerne er for nuværende i en demonstrationsfase, samtidig med at de undergår omfattende levetidstest.

De indkøbte reformere indgår i de demonstrationsanlæg der er nævnt i projektet og gennemgår i det forløb en omfattende test og verificering.

6 Bilag

Bilag 1: Artikel - "Impurities in a High Temperature PEM Fuel Cell: Focus on Unconverted Methanol"

Bilag 2: Artikel - "Investigation the Effects Methanol-Water Vaport Mixture on a PBI-Based High Temperature PEM Fuel Cell"

Bilag 3: Artikel – "Vapor Delivery Systems for the Study of the Effects of Reformate Gas Impurities in HP-PEM Fuel Cells"