

## **Modul energetic integrat cu puterea de 5 kw pe baza de pile de combustie**

**Denumirea proiectului:** MODUL ENERGETIC INTEGRAT CU PUTEREA DE 5 KW PE BAZA DE PILE DE COMBUSTIE

**Acronim:** MENER-5

**Contract nr.:** 21-034 / 2007

**Valoarea proiectului:** 1.285.430 lei

**Buget de Stat:** 1.175.430 lei

**Co-finantare:** 110.000 lei

**Durata contractului:** 18.09.2007 - 10.12.2010

**Autoritatea Contractantă:** Centrul National de Management Programe (CNMP);

**Contractor (Coordonator):** Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica INCDIE ICPE-CA;

**Parteneri:**

Universitatea Politehnica din Bucuresti (Prof. Gheorghe Lazaroiu);

SC ROSEAL SA - Odorheiu Secuiesc (Ing. Istvan Borbath);

SC CHIMCOMPLEX Borzesti SA (Ing. Dumitru Coman);

**Director Proiect:** Dr.ing. Gimi A. RIMBU

Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica INCDIE ICPE-CA, Splaiul Unirii 313, cod. 030138, Sector 3, Bucuresti, ROMANIA, Tel. +40 21 346 82 97 Fax. +40 21 346 82 99; Mobil. +40 755 015 613 / +40 721 595 990; E-mail: rumbu@icpe-ca.ro

### **REZUMATUL PROIECTULUI**

Scopul proiectului este dezvoltarea premiselor unui parteneriat inovativ si competitiv, intre organizatiile C&D participante la proiect (ex. INCDIE ICPE-CA, UPB), IMM-uri (ex. SC ROSEAL SA) si partenerul industrial (ex. SC CHIMCOMPLEX SA), in sensul dezvoltarii unui nou domeniu de competente in domeniul sistemelor energetice integrate pe baza de pile de combustie.

In Romania, se desfasoara la ora actuala cercetari diferite pe materiale si componente in tehnologia pilelor de combustie, in diferite centre de cercetare precum: INCDIE ICPE-CA, INC-DTCI-ICSI Ramnicu Valcea, Centru de Cercetare 3 NanoSAE - Universitatea Bucuresti etc. Din pacate, in Romania, suportul si interesul din partea industriei pentru activitatea de cercetare inovativa si rezultatele acesteia se situeaza la un nivel foarte scazut. Prezenta propunere aduce impreuna parteneri din diferite domenii precum C&D, IMM-uri si industrie, prezentand un domeniu de expertiza combinat in disciplinele: chimie, fizica, stiinta materialelor, stiinte ingineresti etc, implicandu-i in domeniul prioritar - ENERGIE. Astfel, competitivitatea C&D va fi stimulata printr-un parteneriat strategic in care cercetatorii implicati vor fi destul de mult expusi unei culturi antreprenoriale, in scopul dezvoltarii unor tehnologii si produse inovative precum modulele energetice integrate pe baza de pile de combustie si creerii premiselor de implementare a acestora. Prin schema propusa de parteneriat, proiectul intentioneaza sa raspunda obiectivului general al celui de al 4-lea Program: Cresterea competitivitatii C&D prin stimularea parteneriatelor in domeniile prioritare, concretizate in tehnologii, produse si servicii inovative pentru rezolvarea unor probleme complexe si crearea mecanismelor de implementare.

Proiectul abordeaza durabilitatea pilelor de combustie si maximizarea densitatii volumetrice de putere in sistem, prin tratarea unor cerinte de proiectare. In mod special, proiectul isi propune sa dezvolte noi cunostinte in proiectarea si constructia unui sistem energetic integrat pe baza de pile de combustie. Activitatile comune parteneriatului acopera un domeniu multidisciplinar larg: domeniul tehnic, deprinderi transferabile manageriale si de comunicare, transfer de cunostinte, precum si filozofia si etica cercetarii. Aceste aspecte vor determina, pe langa cele experimentale si analitice, atingerea unei maturitati profesionale, independentei si diversitatii in abordarea stiintifica a cercetatorilor implicati. Ca un rezultat, proiectul va asigura oportunitatea largirii domeniului de aptitudini, prin colaborarea cercetatorilor si inginerilor intr-un mediu specific de cercetare.

Calea de a indeplini scopul proiectului este de a imbunatati sinergiile dintre partenerii participanti la proiect, prin mobilizarea resurselor umane si materiale deja existente, stabilind totodata obiective specifice si explorand la frontiera intelegerii topicii abordate. Propunerea de proiect este structurata atat pe baza unor obiective generale cat si stiintifice si tehnice, astfel fiind posibila cuantificarea si masurarea gradului de succes al proiectului. Totodata, proiectul prezinta o abordare deosebita, fiind construit pe baza unei scheme de circuit inchis privind obtinerea rezultatelor si valorificarea acestora,

intre partenerii participanti: dezvoltarea tehnologiei si know-how-ului (INCDIE ICPE-CA, UPB) - potential beneficiar al know-how-ului si tehnologiei (SC ROSEAL SA) - potential beneficiar al produsului dezvoltat (SC CHIMCOMPLEX SA). IMM-ul si partenerul industrial sunt foarte interesati in a beneficia de rezultatele proiectului, fapt pentru care au ales sa participe la realizarea proiectului, suportand costurile unele activitati tehnice prin cofinantare proprie. Pe langa dezvoltarea tehnologica si acumularea de noi cunostinte, proiectul preconizeaza obtinerea unor rezultate ce vor fi determinate de sinergia activitatilor ST desfasurate: (1) Cresterea performantei in cercetare a INCDIE ICPE-CA si UPB; (2) Stimularea implicarii sectorului privat in activitatea C&D; (3) Cresterea profilului de cercetare si capacitatii institutionale ale INCDIE ICPE-CA si UPB.

### **OBIECTIVELE GENERALE ALE PROIECTULUI**

- **OG 1.** Sa determine cresterea competentelor tehnologice si sa promoveze transferul tehnologic si de know-how in domeniul energiei, in conditii de calitate, siguranta in alimentare;
- **OG 2.** Sa expuna cercetatorii unei culturi antreprenoriale si industriale si sa stimuleze parteneriatele, in scopul abordarii creerii de produse si tehnologii curate precum cea a pilelor de combustie;
- **OG 3.** Sa asigure cercetatorilor deprinderi fundamentale stiintifice si specifice in proiectarea, constructia, testarea, optimizarea, modelarea si analiza performantelor unui modul energetic pe baza de pile de combustie;
- **OG 4.** Sa dezvolte competente care sa permita cercetatorilor sa devina mult mai eficienti in comunicare si diseminare;
- **OG 5.** Sa dezvolte deprinderi sociale, etice, stiintifice si antreprenoriale care sa permita cercetatorilor sa abordeze problemele unei dezvoltari durabile ale tehnologiei pilelor de combustie;
- **OG 6.** Sa promoveze utilizarea pilelor de combustie pentru aplicatii stationare, la nivelul caselor si comunitatilor locale, comunitatilor industriale si comerciale;
- **OG 7.** Diseminarea noilor cunostinte acumulate, in domeniul tehnologiei pilelor de combustie, catre comunitatea stiintifica, IMM-uri si organizatiile industriale, in sensul promovarii know-how-ului si transferului tehnologic;
- **OG 8.** Sa contribuie la strategia pregatirii specialistilor tineri romani in domeniul surselor alternative si regenerabile de energie, in scopul cresterii competitivitatii C&D si dezvoltarii durabile in domeniu, ce se va concretiza prin crearea de tehnologii si produse inovative.

### **OBIECTIVE S&T SPECIFICE**

**OS1.** Realizarea modelului experimental de stack de pile de combustie.

**OS2.** Proiectarea, realizarea si experimentarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.

**OS3.** Proiectarea, realizarea si experimentarea unui model functional de sistem energetic integrat.

**OS4.** Realizarea prototipului de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.

### **ETAPELE PROIECTULUI**

**Etapa - 1.** - Decembrie 2007. Realizarea modelului experimental de stack de pile de combustie.

**Etapa - 2.** - Decembrie 2008. Proiectarea, realizarea si experimentarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.

**Etapa - 3.** - Septembrie 2009. Proiectarea si realizarea unui model functional de sistem energetic integrat.

**Etapa - 4.** - Decembrie 2009. Experimentarea modelului functional.

**Etapa - 5.** - Decembrie 2010. Realizarea prototipului de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.

### **RESPONSABILITATILE TEHNICE ALE PARTENERILOR IN CADRUL PROIECTULUI:**

#### **CO - INCDIE ICPE - CA**

1. Elaborarea tehnologiei de laborator de obtinere a unui stack de pile de combustie.
2. Realizarea unui model experimental de stack de pile de combustie, cu pana la 20 ansambluri membrana-electrozi.
3. Proiectarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.
4. Realizarea modelului functional.
5. Demonstrarea functionalitatii si utilitatii modelului functional.

6. Experimentarea modelului functional.
7. Proiectarea si realizarea unui model functional de sistem energetic integrat.
8. Experimentarea modelului functional.
9. Realizarea prototipului de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.

**P1 - Universitatea Politehnica Bucuresti**

1. Studiu privind capacitatea de experimentare si a implementare unor module energetice de putere mica in scopul asigurarii independentei energetice pe anumite sectoare de activitate si valorificarii hidrogenului produs local la SC CHIMCOMPLEX SA
2. Proiectarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.
3. Proiectarea si realizarea unui model functional de sistem energetic integrat.
4. Realizarea prototipului de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.

**P2 - SC ROSEAL SA**

1. Elaborarea tehnologiei de laborator de obtinere a unui stack de pile de combustie.
2. Realizarea unui model experimental de stack de pile de combustie, cu pana la 20 ansambluri membrana-electrozi.
3. Realizarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.
4. Proiectarea si realizarea unui model functional de sistem energetic integrat.
5. Realizarea prototipului de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.

**P3 - SC CHIMCOMPLEX SA Borzesti**

1. Studiu privind capacitatea de experimentare si a implementare unor module energetice de putere mica in scopul asigurarii independentei energetice pe anumite sectoare de activitate si valorificarii hidrogenului produs local la SC CHIMCOMPLEX SA.

## REZUMATUL ETAPEI I /2007

### E1. Realizarea modelului experimental de stack de pile de combustie

Obiectivul stiintific ST1 reprezinta si obiectivul etapei I-a a proiectului, care este structurata in 3 activitati stiintifice si tehnice:

A1.1 Studiu privind capacitatea de experimentare si a implementare unor module energetice de putere mica in scopul asigurarii independentei energetice pe anumite sectoare de activitate si valorificarii hidrogenului produs local la SC CHIMCOMPLEX SA;

A1.2 Elaborarea tehnologiei de laborator de obtinere a unui stack de pile de combustie;

A1.3 Realizarea unui model experimental de stack de pile de combustie, cu pana la 20 ansambluri membrana-electrozi.

Scopul proiectului este dezvoltarea premiselor unui parteneriat inovativ si competitiv, intre organizatiile C&D participante la proiect (ex. INC DIE ICPE-CA, UPB), IMM-uri (ex. SC ROSEAL SA) si partenerul industrial (ex. SC CHIMCOMPLEX SA), in sensul dezvoltarii unui nou domeniu de competente in domeniul sistemelor energetice integrate pe baza de pile de combustie.

Prezentul proiect aduce impreuna parteneri din diferite domenii precum C&D, IMM-uri si industrie, prezentand un domeniu de expertiza combinat in disciplinele: chimie, fizica, stiinta materialelor, stiinte ingineresti etc, implicandu-i in domeniul prioritar – ENERGIE.

Proiectul abordeaza durabilitatea pilor de combustie si maximizarea densitatii volumetrice de putere in sistem, prin tratarea unor cerinte de proiectare. In mod special, proiectul isi propune sa dezvolte noi cunostinte in proiectarea si constructia unui sistem energetic integrat pe baza de pile de combustie. Activitatile comune parteneriatului acopera un domeniu multidisciplinar larg: domeniul tehnic, deprinderi transferabile manageriale si de comunicare, transfer de cunostinte, precum si filozofia si etica cercetarii. Aceste aspecte vor determina, pe langa cele experimentale si analitice, atingerea unei maturitati profesionale, independentei si diversitatii in abordarea stiintifica a cercetatorilor implicati. Ca un rezultat, proiectul va asigura oportunitatea largirii domeniului de aptitudini, prin colaborarea cercetatorilor si inginerilor intr-un mediu specific de cercetare.

Calea de a indeplini scopul proiectului este de a imbunatati sinergiile dintre partenerii participanti la proiect, prin mobilizarea resurselor umane si materiale deja existente, stabilind totodata obiective specifice si explorand la frontiera intelegerii topicii abordate. Proiectul prezinta o abordare deosebita, fiind construit pe baza unei scheme de circuit inchis privind obtinerea rezultatelor si valorificarea acestora, intre partenerii participanti: dezvoltarea tehnologiei si know-how-ului (INC DIE ICPE-CA, UPB) – potential beneficiar al know-how-ului si tehnologiei (SC ROSEAL SA) – potential beneficiar al produsului dezvoltat (SC CHIMCOMPLEX SA). IMM-ul si partenerul industrial sunt foarte interesati in a beneficia de rezultatele proiectului, fapt pentru care au ales sa participe la realizarea proiectului, suportand costurile unele activitati tehnice prin cofinantare proprie.

Proiectul isi propune sa dezvolte noi cunostinte in proiectarea si constructia unui sistem energetic integrat pe baza de pile de combustie, cu o putere de pana la 5 kW, care sa utilizeze hidrogenul fabricat si furnizat de SC CHIMCOMPLEX SA.

In acest sens, se propune realizarea si implementarea sistemului de pile de combustiei de 5 kW direct pe platforma societatii CHIMCOMPLEX, in scopul asigurarii autonomiei energetice pe zone de activitate.

La CHIMCOMPLEX SA obtinerea hidrogenului se face prin electroliza clorurii de sodiu. Capacitatea de productie curenta este de 4200 m<sup>3</sup> /h, existand o rezervă de 1500 m<sup>3</sup> și un vas tampon cu o capacitate de 3000 m<sup>3</sup>. Hidrogenul produs are puritatea 99.9 %. În urma electrolizei NaCl rezultă hidrogen la presiunea de 0.45 bar care se utilizează în procesul de hidrogenare a HCl. Productia curenta realizata este de 3000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h. Există o treaptă de îmbuteliere în butelii de 40 l = aprox 6 m<sup>3</sup><sub>N</sub> pe butelie, care se vinde diversilor clienți.

Depinzand de uzul final, hidrogenul poate fi comprimat sau lichifiat. Compresia de hydrogen este similar gazului natural, dar are o energie intensive de aceea se folosesc aceeasi compresori, dar cu mici modificari. Volumul mic de dpozitare este de 5 MPa, iar recipientele de stocare pot fi folosite daca volumul este suficient. Media stocurilor alternative incluzand si alti derivati nu sunt dezvoltate.

Hidrogenul se caracterizează de o densitate scăzută, în condiții normale, astfel încât depozitarea sa este mai dificilă în comparație cu alți combustibili lichizi. Poate fi depozitat astfel: (1) hidrogen gazos presurizat în rezervoare sau în rezervoare subterane; (2) hidrogen lichid în micro - sfere; sau (3) în metale hibride. În alegerea tipului de depozitare trebuie să se țină cont de aceste caracteristici, dar și de densitatea energiei și costul pe care îl implică fiecare tip de depozitare.

Hidrogenul nu este o sursă primară de energie, dar este utilizat ca un purtător de energie între producerea puterii și utilizarea acesteia. Puterea este generată din hidrogen fie prin conversie într-o celulă de combustie, fie prin combustie internă.

Procesul de producere a energiei electrice prin celule de combustie este exact inversul electrolizei. În procesul electrolizei, prin aplicarea unui curent electric apă este descompusă în componentele sale gazoase, oxigen și hidrogen. În celulele de combustie aceste două componente gazoase se unesc pentru a forma apă și se eliberează electroni, care formează curentul electric. Teoretic aceeași cantitate de energie care a fost utilizată pentru electroliza ar trebui să fie eliberată prin reconstituirea apei.

Modul fundamental de operare al celulei de combustie este următorul: dacă există hidrogen la anod și oxigen la catod, moleculele de hidrogen se descompun în câte doi atomi și, în același timp, se eliberează electroni. Ioni de hidrogen formați trec prin electrolit, care este permeabil pentru acestia, și ajung la catod, unde sunt oxidați de oxigen și formează apă. Pentru a fi posibilă formarea apei este necesar ca electronii donati la începutul procesului să fie prezenți. Electrolitul nu este permeabil pentru electroni și dacă cei doi electrozi sunt uniți printr-un conductor electric, electronii trec de la anod spre catod prin acel conductor, formând un curent electric utilizabil. Acest proces se desfășoară continuu atât timp cât există suficient hidrogen și oxigen la anod și respectiv la catod. Majoritatea celulelor de combustie funcționează pe baza oxigenului extras din aer și nu necesită prezența oxigenului stocat.

O celulă de combustie generează numai un voltaj redus și de aceea pentru a realiza voltajul dorit este necesar să se însereze mai multe celule. Un asemenea aranjament poartă denumirea de "stack de pile de combustie".

Pilele de combustie funcționează într-un mod similar cu acumulatorii electrice, numai că, în loc să fie reîncărcate periodic cu curent electric, ele trebuie să fie alimentate continuu cu hidrogen și oxigen gazos.

Tehnologia FC de cogenerare a fost în general dezvoltată și aplicată în SUA, Japonia și câteva state din Uniunea Europeană sub forma unor unități prototip. Această tehnologie de cogenerare are eficiență ridicată și prezintă nivele scăzute ale emisiilor de poluanți, putând fi proiectată pentru puteri diferite și folosită în aplicații staționare sau industriale.

Valorile investițiilor sunt estimate în funcție de volumul de producție. Câteva companii cum ar fi Siemens, Westinghouse, Fuji, Mitsubishi, Toshiba și ONSI produc module de FC care au fost implementate ca module demonstrative. Se dorește comercializarea și dezvoltarea FC în cadrul tehnologiei de cogenerare.

Pentru analiza propusă în acest proiect, rezultatele arată că prezintă fezabilitate economică și tehnică investițiile tehnologice între 2000 și 2500 Euro / kW, aspect care se dorește a fi realizat prin prezentul proiect.

În cadrul acestei etape au fost realizate plăci bipolare pe baza desenului de execuție 810-6957-01. Au fost realizate garnituri de etansare din cauciuc silicioconic și teflon termo-chimic stabile pentru directă utilizare în pilele de combustie PEMFC

Etansarea plăcilor bipolare s-a efectuat prin utilizarea garniturilor de etansare din cauciuc silicioconic și teflon fabricate.

A fost realizat un stack de pile de combustie cu până la 20 ansambluri MEA.

## **CONCLUZII**

- Tehnologia FC de cogenerare a fost dezvoltată și aplicată în SUA, Japonia și câteva state din Uniunea Europeană sub forma unor unități prototip. Această tehnologie de cogenerare are eficiență ridicată și prezintă nivele scăzute ale emisiilor de poluanți, putând fi proiectată pentru puteri diferite și folosită în aplicații staționare sau industriale.
- Valorile investițiilor sunt estimate în funcție de volumul de producție. Câteva companii cum ar fi Siemens, Westinghouse, Fuji, Mitsubishi, Toshiba și ONSI produc module de FC care au fost implementate ca module demonstrative. Se dorește comercializarea și dezvoltarea FC în cadrul tehnologiei de cogenerare.

- Pentru analiza propusa in acest proiect, rezultatele arata ca prezinta fesabilitate economica si tehnica investitiile tehnologice intre 2000 si 2500 Euro / kW, aspect care se doreste a fi realizat prin prezentul proiect.
- In cadrul acestei etape au fost realizate placi bipolare pe baza desenului de executie 810-6957-01.
- Au fost realizate garnituri de etansare din cauciuc silioconic și teflon termo-chimic stabile pentru directa utilizare in pilele de combustie PEMFC
- Etansarea placilor bipolare s-a efectuat prin utilizarea garniturilor de etansare din cauciuc silioconic și teflon fabricate.
- A fost realizat un stack de pile de combustie cu pana la 20 ansambluri MEA.

## REZUMATUL ETAPEI II/2008

### E2. Proiectarea, realizarea si experimentarea modelului functional de stack cu puterea de pana la 5 kW.

S-a proiectat o baterie de pile de combustie (stack) cu o putere de 5KW ( $P_{en}$ ). Din capacitatea energetica de 5kW, minim 30 - 40% reprezinta energie electrica si maxim 60% - 70% energie termica. Bateria opereaza la 80°C, presiunea de 1 - 5 bari. Combustibilul utilizat este hidrogenul. Oxidantul utilizat este aerul. Fiecare celula din stack lucreaza la o tensiune nominala de 0,5V, astfel incat tensiunea debitata de baterie sa se situeze in domeniul 25V – 12V, la un curent de 0A – 180A.

In cadrul proiectarii au fost considerate un numar de 3 subsisteme, reprezentate in figura 1. Proiectul tehnologic s-a bazat pe calculul parametrilor de intrare in pila de combustie, ce sunt raspunzatori de conferirea proprietatilor de performanta asumate stack-ului de pile de combustie.

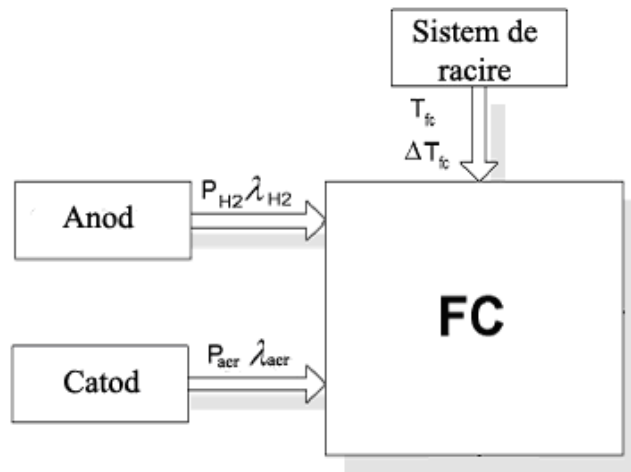


Figura 1. Schema celor 4 subsisteme care interactioneaza cu celula de combustie

Cele mai importante cerinte care trebuiesc indeplinite pentru **alimentarea in zona anodica** si care au fost determinate sunt urmatoarele:

- Debitului masic de  $H_2$  necesar la anod ( $m_{H_2.in}$ ): 0,21 Kg/h.
- Debitului volumetric de  $H_2$  necesar la anod ( $q_{H_2.in}$ ): 2,22 m<sup>3</sup>/h
- Debitului de hidrogen la iesirea din stack ( $m_{H_2.ies}$ ): 0,04 kg/h
- Coeficientului partial de transfer termic al  $H_2$  ( $\alpha_{H_2}$ ): 40,9 W/m<sup>2</sup> grd
- temperatura gazului la iesire ( $t_{H_2.ies}$ ): 69,9°C
- Temperatura hidrogenului la iesirea din stack este cu 48,9°C mai mare decat temperatura de intrare.
- Rezervorul de hidrogen trebuie sa livreze un debit de aproximativ 2,3 m<sup>3</sup>/h si o presiune de 1 bar.
- Intrucat potentialul pe electrodul de hidrogen este "zero", debitul suplimentar de hidrogen nu va influenta valoarea diferentei de potential intre anod si catod.
- Debitul rezervorului trebuie sa fie variabil si sa fie capabil sa asigure presiuni de pana la 5 bari.
- La anod nu este necesara umidificarea gazului reactant.
- La marirea presiunii hidrogenului cu 1 bar, fara a schimba presiunile partiale de  $O_2$  si  $H_2O$ , diferenta de potential intre anod si catod creste cu aproximativ 0,004V.

Cele mai importante cerinte care trebuiesc indeplinite pentru **alimentarea in zona catodica** si care au fost determinate sunt urmatoarele:

- Debitul masic de  $O_2$  necesar ( $m_{ox.usc.in}$ ): 1,69 Kg/h
- Debitul volumetric de  $O_2$  necesar ( $q_{ox.usc.in}$ ): 1,15 m<sup>3</sup>/h
- Debitul masic de aer necesar ( $m_{aer.usc.in}$ ): 7,25 kg/h
- Debitul volumetric de aer necesar ( $q_{aer.usc.in}$ ): 6,5 m<sup>3</sup>/h

- Debitul de aer uscat la iesirea din stack ( $m_{\text{aer.usc.ies}}$ ): 5,95 kg/h
- Debitul volumetric de aer umed la iesire ( $q_{\text{aer.um.ies}}$ ): 7,35 m<sup>3</sup>/h
- Debitul volumetric de intrare a aerului ( $q_{\text{aer.in}}$ ): 6,52 m<sup>3</sup> / h
- Cantitatea de umiditate ( $m_{\text{umiditate.int}}$ ) din aer: 0,057 kg/h
- Cantitatea de apa produsa in stack, in urma procesului chimic ( $m_{\text{H}_2\text{O prod}}$ ): 1,2 kg/h
- Cantitatea necesara de apa pentru procesul de umidificare ( $m_{\text{H}_2\text{O.umid}}$ ): 2,075 kg/h
- Coeficientului partial de transfer termic al aerului ( $\alpha_{\text{aer.umid}}$ ): 50,28 W/m<sup>2</sup> grd
- Temperatura gazului la iesire ( $t_{\text{aer.ies}}$ ): 60,77°C
- Temperatura aerului la iesirea din stack este cu 39,77°C mai mare decat temperatura de intrare.
- Compresorul trebuie sa livreze un debit minim de 6,52 m<sup>3</sup>/h si o presiune de 1 bar.
- Debitul compresorului trebuie sa fie variabil, trebuie sa fie capabil sa asigure presiuni de pana la 5 bari si trebuie sa fie lipsit de lubrifiante, deoarece acestea pot induce impuritati in stack-ul celulei de combustie.
- Debitul de aer la iesire ar trebui sa fie mai mic de 7,35 m<sup>3</sup>/h si o presiune cuprinsa intre 1 si 5 bari.
- Pentru a se realiza o umidificare a aerului la RH = 100%, aproximativ 1,8 litri / h de apa ar trebui adaugati aerului de alimentare pe catod.
- O crestere a presiunii oxigenului in sistem cu 1 bar, fara a schimba presiunile partiale de O<sub>2</sub> si H<sub>2</sub>O, determina o crestere a diferentei de potential intre anod si catod cu aproximativ 0,002V, conform ecuatiei Nerst.
- O crestere a presiunii aerului in sistem cu 1 bar, fara a schimba presiunile partiale de O<sub>2</sub> si H<sub>2</sub>O, determina o crestere a diferentei de potential intre anod si catod cu aproximativ 0,0005V, conform ecuatiei Nerst.
- O crestere a coeficientului stoechiometric de aer fata de hidrogen este echivalent cu o crestere a continutului de oxigen in sistem, ducand la cresterea potentialului.

Cele mai importante cerinte care trebuiesc indeplinite pentru **zona de racire** si care au fost determinate sunt urmatoarele:

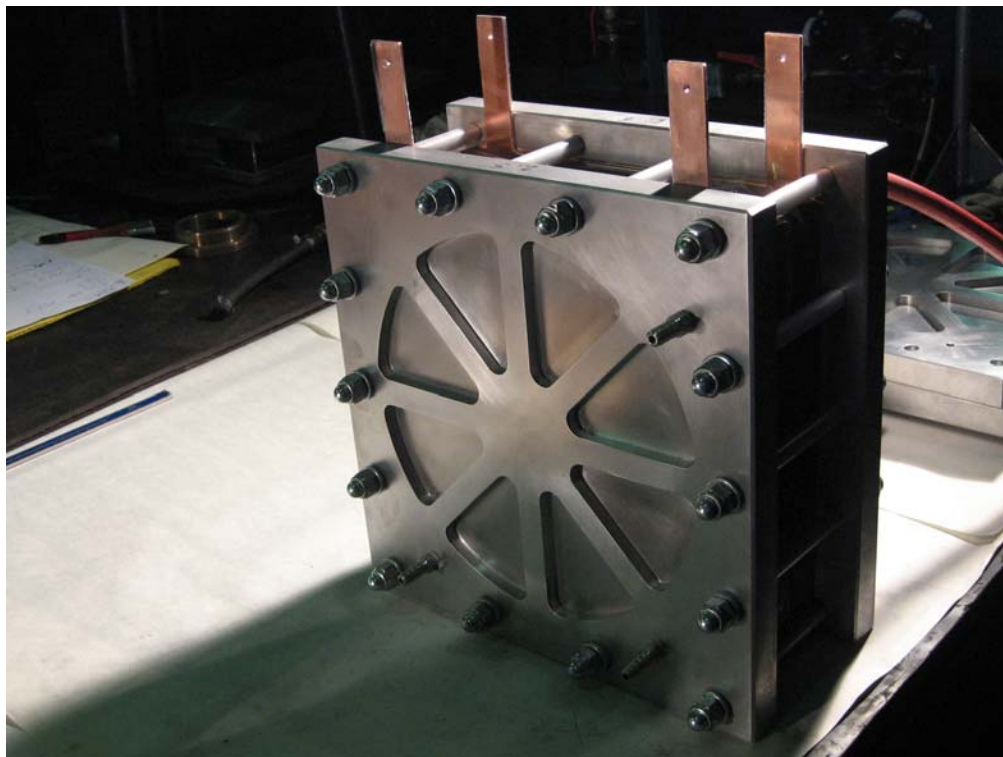
- Stack-ul este operat la temperatura de 80°C.
- Diferenta de temperatura intre intrarea si iesirea apei din sistem nu trebuie sa depaseasca 5°C deoarece poate produce o distributie neuniforma a temperaturii.
- Debitul volumetric de apa de racire pentru a elimina 3,5 kW energie termica din sistem este: 10 m<sup>3</sup>/min
- Apa trebuie initial preincalzita la temperatura de 75°C
- Coeficientul total de transfer termic: 285 W/m<sup>2</sup> grd
- Coeficientul partial de transfer termic:  $\alpha_2 = 299,9$  W/m<sup>2</sup> grd
- Viteza de curgere a apei prin sectiunea de racire:  $\omega = 0,019$  m/s
- Debitul volumetric intr-un stack cu 20 celule:  $q_{\text{apa.racire}} = 2,8$  m<sup>3</sup> / min
- Pompa ar trebui sa fie capabila sa livreze un debit intre 3 - 10 [L/min].

In cadrul proiectului a fost stabilita tehnologia de realizare a placilor bipolare din compozit de tip grafit / rasina epoxi. **Tehnologia de realizare a placilor bipolare reprezinta subiectul unei propuneri de brevet aflata in desfasurare.**

De asemenea, a fost stabilita tehnologia de realizare a garniturilor de etansare si a ansamblurilor membrana – electrozi (MEA).

Modelul functional de stack de celule de combustie a fost realizat prin dispunerea in pachet a unui ansamblu de 5 MEA cu aria activa de 400 cm<sup>2</sup>.





## CONCLUZII

Modelul functional de stack compus din 5 pile de combustie, elaborat la INCDIE ICPE-CA, debiteaza o putere electrica minima de 260W, in conditiile unei operari la 50°C, in conditii de purjare deschisa a unui debit de hidrogen de 2,8 – 4,5 Slpm H<sub>2</sub> de puritate 99.999% si debit de oxigen de 2,8 – 4,5 Slpm oxigen de puritate 99.98%.

Conform datelor obtinute in urma testelor de polarizare, sistemul prezinta urmatoorii parametri de performanta:

- Puterea electrica debitata: 260 W
- Tensiunea nominala la puterea maxima obtinuta: 1,93 V
- Caderea de tensiune pe celula la puterea maxima obtinuta: 400 mV/celula
- Curentul debitat la puterea maxima: 130 A
- Densitatea de curent debitata la puterea maxima: 325 mA/cm<sup>2</sup>

## REZUMATUL ETAPEI III/2009

### E3. Proiectarea si realizarea unui model functional de sistem energetic integrat.

In etapa a III-a a proiectului s-a proiectat si s-a realizat un model functional de modul energetic integrat, avand la baza un stack de pile de combustie cu puterea totala de 5kW, din care, 1,8kW<sub>e</sub> putere electrica maxima si 3,2kW<sub>t</sub> putere termica maxima. Temperatura medie de lucru este 60°C iar temperatura maxima admisibila de lucru este 80°C. Temperatura medie a stack-ului este controlata pe baza recircularii in sistem a unui agent termic apos (apa deionizata / etilen glicol). Combustibilul utilizat este hidrogenul. Oxidantul utilizat este aerul. Tensiunea debitata de stack se situeaza in domeniul 24V – 12V. Curentul maxim debitat este de 150A c.c.

Tensiunea electrica variabila in domeniul 12V - 24V debitata de stack-ul de pile de combustie in c.c. este stabilizata intr-un convertor DC/DC si transformata printr-un invertor DC/AC in 220V/50Hz in c.a.

Proiectarea modului energetic a fost demarata inca din cadrul etapei II/2008, unde s-a realizat calculul tehnologic de dimensionare a stack-ului de pile de combustie, stabilindu-se astfel numarul de celule necesare in stack (25 celule) si geometria electrozilor (aria = 400 cm<sup>2</sup>) in raport cu puterea debitata. Totodata, a fost realizat si calculul tehnologic al electrozilor in stack, evaluandu-se parametrii de lucru necesari pentru a dezvolta puterea proiectata. In urma evaluarii au fost obtinute urmatoarele rezultate:

#### Alimentarea in zona anodica:

- Debitului masic de H<sub>2</sub> necesar la anod (m<sub>H<sub>2</sub>.in</sub>): 0,21 Kg/h.
- Debitului volumetric de H<sub>2</sub> necesar la anod (q<sub>H<sub>2</sub>in</sub>): 2,22 m<sup>3</sup>/h
- Debitului de hidrogen la iesirea din stack (m<sub>H<sub>2</sub>.ies</sub>): 0,04 kg/h
- Coeficientului partial de transfer termic al H<sub>2</sub> (α<sub>H<sub>2</sub></sub>): 40,9 W/m<sup>2</sup> grd
- temperatura gazului la iesire (t<sub>H<sub>2</sub>.ies</sub>): 69,9°C
- Temperatura hidrogenului la iesirea din stack este cu 48,9°C mai mare decat temperatura de intrare.
- Rezervorul de hidrogen trebuie sa livreze un debit de aproximativ 2,3 m<sup>3</sup>/h si o presiune de 1 bar.
- Intrucat potentialul pe electrodul de hidrogen este "zero", debitul suplimentar de hidrogen nu va influenta valoarea diferentei de potential intre anod si catod.
- Debitul rezervorului trebuie sa fie variabil si sa fie capabil sa asigure presiuni de pana la 5 bari.
- La anod nu este necesara umidificarea gazului reactant.

#### Alimentarea in zona catodica:

- Debitul masic de O<sub>2</sub> necesar (m<sub>ox.usc.in</sub>): 1,69 Kg/h
- Debitul volumetric de O<sub>2</sub> necesar (q<sub>ox.usc.in</sub>): 1,15 m<sup>3</sup>/h
- Debitul masic de aer necesar (m<sub>aer.usc.in</sub>): 7,25 kg/h
- Debitul volumetric de aer necesar (q<sub>aer.usc.in</sub>): 6,5 m<sup>3</sup>/h
- Debitul de aer uscat la iesirea din stack (m<sub>aer.usc.ies</sub>): 5,95 kg/h
- Debitul volumetric de aer umed la iesire (q<sub>aer.um.ies</sub>): 7,35 m<sup>3</sup>/h
- Debitul volumetric de intrare a aerului (q<sub>aer.in</sub>): 6,52 m<sup>3</sup> / h
- Cantitatea de umiditate (m<sub>umiditate.int</sub>) din aer: 0,057 kg/h
- Cantitatea de apa produsa in stack, in urma procesului chimic (m<sub>H<sub>2</sub>O prod</sub>): 1,2 kg/h
- Cantitatea necesara de apa pentru procesul de umidificare (m<sub>H<sub>2</sub>O.umid</sub>): 2,075 kg/h
- Coeficientului partial de transfer termic al aerului (α<sub>aer.umid</sub>): 50,28 W/m<sup>2</sup> grd
- Temperatura gazului la iesire (t<sub>aer.ies</sub>): 60,77°C
- Temperatura aerului la iesirea din stack este cu 39,77°C mai mare decat temperatura de intrare.
- Compresorul trebuie sa livreze un debit minim de 6,52 m<sup>3</sup>/h si o presiune de 1 bar.
- Debitul compresorului trebuie sa fie variabil, trebuie sa fie capabil sa asigure presiuni de pana la 5 bari si trebuie sa fie lipsit de lubrifiante, deoarece acestea pot induce impuritati in stack-ul celulei de combustie.

- Debitul de aer la iesire ar trebui sa fie mai mic de  $7,35 \text{ m}^3/\text{h}$  si o presiune cuprinsa intre 1 si 5 bari.

#### Alimentarea in zona de racire:

- Stack-ul este operat la temperatura de  $80^\circ\text{C}$ .
- Diferenta de temperatura intre intrarea si iesirea apei din sistem nu trebuie sa depaseasca  $5^\circ\text{C}$  deoarece poate produce o distributie neuniforma a temperaturii.
- Debitul volumetric de apa de racire pentru a elimina  $3,2 \text{ kW}$  energie termica din sistem este:  $10 \text{ m}^3/\text{min}$
- Apa trebuie initial preincalzita la temperatura de  $75^\circ\text{C}$
- Debitul volumetric intr-un stack cu 25 celule:  $q_{\text{apa.racire}} = 2,8 \text{ m}^3 / \text{min}$
- Pompa ar trebui sa fie capabila sa livreze un debit intre 3 - 10 [L/min].



Figura 1. Model functional de sistem energetic integrat pe baza de pile de combustie realizat la INCDIE ICPE-CA

**Modulul energetic integrat** este compus din urmatoarele blocuri functionale:

1. Stack pila de combustie, cu puterea totala de 5kW ( $1800W_e + 3200W_t$ );
  - dimensiuni de gabarit : 360 x 390 x 292 mm – pentru 25 celule
  - tensiunea de iesire a stack-ului de pile: 12-24V;
  - tensiunea electrica de mers in gol a unui element este cuprinsa intre 0,90-1V;
  - curent debitat in sarcina: max 150 A;
  - rezistenta electrica de volum maxima a placilor bipolare este de  $120\mu\Omega\text{m}$ ;
  - puterea electrica maxima  $1800W_e$ ;
  - timpul de intrare in regimul de functionare: max. 3 minute;
  - temperatura medie de lucru este de  $60^\circ\text{C}$ ;
  - temperatura maxima admisibila de lucru este de  $80^\circ\text{C}$ ;
  - alimentare:  $\text{H}_2$  tip 5.5, din butelie de  $0,06 \text{ m}^3/200 \text{ at}$ , standard, aer atmosferic;
  - auxiliare:  $\text{N}_2$  de tip 5.0, din din butelie de  $0,05 \text{ m}^3/200 \text{ at}$ ;
  - presiunea de intrare  $\text{H}_2$  intre 0,5 – 2 at;
  - presiunea de intrare aer intre 0,1 – 0,25 at;
  - presiunea de intrare azot intre 0,5 – 2 at;
  - debit  $\text{H}_2$ :  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$
  - debit aer:  $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
2. Sursa de energie back-up de 24V/100Ah;
3. Convertor DC-DC 9-24V / 27V, 65A;
4. Invertor DC-AC 24V / 220V, 50Hz;
5. Sursa ATX 6-30V DC/DC, 250W;
6. Sistem de automatizare;
7. Rack montant de tip DIN, avand cotele de gabarit :799 x 630 x 1440,5 mm
8. Rezervor hidrogen 5.5 (99,999%);
9. Sistem de tranfer termic pe baza de schimbator de caldura in convecție naturala (tip radiator auto);
  - putere calorica maxima:  $3200W_t$ ;
  - sistem de transfer termic: racire cu apa dionizata + etilen-glicol 9:1;
  - temperatura maxima de iesire agent termic  $60-80^\circ\text{C}$ ;
  - debit agent termic: pana la  $22\text{kg}/\text{h}$ , pentru o temperatura de intrare de  $20^\circ\text{C}$ ;
10. Pompa de aer de tip turbosuflanta;
11. Pompa de recirculare agent termic.

## REZUMATUL ETAPEI IV / 2009

### E4. Experimentarea modelului functional.

In etapa a IV-a a proiectului s-a experimentat un model de sistem energetic integrat pe baza de celule de combustie, determinandu-se o serie de caracteristici functionale ale acestuia. Scopul experimentarii a fost acela de a evalua puterea totala cogenerativa (electrica si termica) debitata de un model functional de modul energetic integrat pe baza de celule de combustie, realizat la INCDIE ICPE-CA in cadrul contractului nr. 21-034 (4234) / 2007.

Puterea debitata de catre sistemul energetic s-a evaluat prin trasarea curbei de polarizare (sau curba I-V, calibrare de putere etc.), presupunand un test in stare cvasi-stationara, unde valori specifice ale curentului sunt setate pentru a determina conditiile de operare si valorile tensiunilor corespunzatoare. Totodata, parametrii functionali ai sistemelor auxiliare de conversie energetica (convertor DC-DC, invertor DC-AC) au fost monitorizati, in vederea mentinerii lor in limitele impuse de functionare.

Modelul functional de sistem energetic integrat a fost realizat in cadrul etapei anterioare a proiectului, etapa a III-a/2009, avand in componenta sa urmatoarele blocuri functionale:

1. Stack pila de combustie, cu puterea totala de 5kW ( $1800W_e + 3200W_t$ );
2. Sursa de energie back-up de 24V/100Ah;
3. Convertor DC-DC 9-24V / 27V, 65A;
4. Invertor DC-AC 24V / 220V, 50Hz;
5. Sursa DC/DC, 250W;
6. Computer de proces – control sistem automatizare;
7. Sistem de racire tip radiator in convecție forțată;
8. Pompa de recirculare agent termic cu debit 0 - 10L/min.

Experimentarea a fost efectuata in cadrul INCDIE ICPE-CA, Laboratorul de „Pile de Combustie”. Pentru experimentarea si evaluarea parametrilor functionali s-a utilizat standul de testare *ElectroChem Test Station: ECL-150 / MTS-150 / HSA-TC*. Standul de testare are posibilitatea controlului presiunii si debitului gazelor combustibile si oxidante (echipament MTS-150), temperaturii si umiditatii debitului de oxidant si combustibil la iesirea si intrarea in pila de combustie (echipament HSA-TC). In plus, standul contine o unitate de control a conditiilor de operare a pilei de combustie: temperatura celulei si sarcina electrica (echipament ECL 150).

Puterea electrica debitata de catre sistemul energetic s-a evaluat prin trasarea curbei de polarizare (sau curba I-V, calibrare de putere etc.), utilizand un stand de testare manual compus dintr-o rezistenta variabila si shunt conectate in serie.

Din datele obtinute in urma experimentarii functionale reiese ca:

- Modelul functional de sistem energetic integrat elaborat la INCDIE ICPE-CA, are la baza o baterie de 25 celule de combustie.
- Din experimentarile efectuate, s-a constatat ca sistemul debiteaza o putere electrica minima de 175W, in conditiile sustinerii sistemului de back-up (ca unic consumator - 10A / 17.5V), operand la 50°C, in conditii de purjare deschisa a unui debit de hidrogen de 2,8 – 4,5 Slpm H<sub>2</sub> de puritate 99.999% si debit de oxigen de 2,8 – 4,5 Slpm oxigen de puritate 99.98%.
- Parametrii electrici monitorizati in conditiile de experimentare prin cuplarea a doi consumatori de 2 x 200W au fost: Tensiunea nominala la puterea debitata: 10V; Curentul electric generat la puterea debitata: 40 A.
- Stack-ul prezinta stabilitate in conditii de operare continua sub o incarcare de curent data (ex. 15A), ceea ce denota stabilitatea electrozilor fabricati, precum si oportunitatea utilizarii acestui tip de sistem in aplicatii de generare a energiei electrice.
- Caldura recuperata prin exploatarea bateriei de pile in timpul sustinerii sistemului de back-up (ca unic consumator – 10A / 17,5V) a fost:  $Q_{fc.recuperat} = 348Wh$ .
- Caldura recuperata prin exploatarea bateriei de pile in timpul conectarii la un consumator de 400W (40A / 10V) a fost:  $Q_{fc.recuperat} = 1080Wh$ .

- Eficienta electrica a stack-ului de pile conectat la sistemul de back-up ca unic consumator (10A; 17,5V):  $E_{f_e} = 0,47$ .
- Eficienta electrica a stack-ului de pile conectat la un consumator de 400W (40A; 10V):  $E_{f_e} = 0,27$ .

Din graficele prezentate, se observa ca punctul de putere maxima obtinuta se situeaza pe o panta ascendenta, astfel incat concluzia poate fi ca parametrii de performanta obtinuti in acest stadiu al testarii sunt in continua imbunatatire si se apropie de cei considerati in activitatea de proiectare:

- Densitatea de curent la puterea max. preconizata debitata:  $450 \text{ mA/cm}^2$
- Tensiunea nominala la puterea max. preconizata debitata:  $500 \text{ mV / celula}$

De asemenea, stack-ul prezinta stabilitate in conditii de operare continua sub o incarcare de curent data, ceea ce denota stabilitatea electrozilor fabricati, precum si oportunitatea utilizarii acestui tip de sistem in aplicatii de generare a energiei electrice.



Figura 1. Model functional de sistem energetic integrat pe baza de pile de combustie realizat la INCDIE ICPE-CA

## CONCLUZII

Datele experimentale confirma ca modelul functional de sistem energetic integrat pe baza de celule de combustie, realizat la INCDIE ICPE-CA, corespunde parametrilor stabiliti la proiectare, atat geometrici cat si functionali.

Obiectivul etapei a IV-a/2009 a fost realizat si se propune trecerea la etapa a V-a/2010 - **Realizarea PROTOTIPULUI de sistem energetic integrat cu puterea de pana la 5 kW.**