
**„Surse de energie stationare cu pile de combustie pentru agricultura bio-organica in sere”-FC-Farm (46/2014)
PN-II-PT-PCCA-2013-4-1102**

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

2017

Cuprins

Rezumat	2
Descrierea științifică și tehnică- Etapa III Testarea viabilității modelului de sera independentă energetic-II; Data finalizare: 30 Septembrie 2017	2
A4.1 Fabricare și testare TwinIC-MEA-II.....	2
A4.2 Pila de combustie TwinIC (Model experimental)	5
Act 4.3. Instalarea sistemelor (panouri fotovoltaice, reactor biogaz, stack pile de combustie/electrolizor) în seră-IV	11
Act 4.4. Demonstrarea viabilității sistemului- sera independentă energetic (Testare prototip).....	17
Concluzii	20
ANEXE:	20
Anexa A: desen cod PC-FCF-00 „Ansamblu pila combustie Twin-IC”	20
Anexa B: desen cod PC-FCF-01 „Placa capat”	20
Anexa C: desen cod PC-FCF-02 „Colector curent”	20
Anexa D: desen cod PC-FCF-03 „Placa bipolară”	20
Anexa E: Fisa tehnica MEA TwinIC	20
Anexa F: Plansa cu imagini ale sistemelor instalate in sera la Baleni.	20

Rezumat

Proiectul FC-Farm abordează două aspecte cheie în domeniul surselor de energie sustenabile, în special surselor de energie independente: elaborarea unei **baterii de pile de combustie de 1kW** ca o soluție de risc scăzut, pentru furnizarea cu energie a unei sere demonstrative și **pila de combustie cu membrana schimbătoare de ioni bipolară** – un prototip avansat (dovada a conceptului) – Soluție de risc crescut. Consorțiul este format din: 2 organizații de cercetare- *Universitatea din București și ICSI Râmnicu Vâlcea* și 2 parteneri privați: *SC TechnoVolt SRL și SC E-laborator Feeria SRL*.

În cadrul etapei IV/2017 au fost finalizate studiile privind ansamblu membrana-electrod (MEA) (sinteza/condiționarea și caracterizarea). Au fost selectate următoarele materiale: membrana bipolară formată prin presarea la cald a două membrane: Nafion- membrană schimbătoare de cationi, PPOBr- membrană schimbătoare de anioni, Pt/C- catalizator, optându-se pentru o încărcare de $0.6\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru anod, respectiv $1\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru catod. MEA obținută astfel a fost testată în pila de combustie, rezultatul fiind o densitate de putere de aprox $5\text{mW}/\text{cm}^2$, la o densitate de curent de $15\text{mA}/\text{cm}^2$. De asemenea, a fost implementat un concept tehnic și constructiv privind realizarea unei pile de combustie cu membrană bipolară schimbătoare de ioni, cu elaborarea unei teme de proiectare pentru acest model experimental. Dacă în etapele anterioare au fost instalate toate subsistemele necesare pentru funcționarea independentă a serei: panouri fotovoltaice, reactor biogaz, stack pile de combustie/electrolizor, în cadrul acestei etape a fost conceput, realizat și instalat un sistem complex de monitorizare a parametrilor importanți în funcționarea unei sere în care se cultivă răsaduri/legume: temperatură (50 puncte = interior cub: $3 \times 4 \times 4$, 2 senzori pentru exterior); CO_2 / presiune atm. / umiditate / intensitate luminoasă (IR, Vis, UV) (8 puncte = interior 3×2 , 2 exterior); factor de putere inverter (2 puncte = 2 consumatori); eficiență panouri solare (2 puncte = 2 arii).

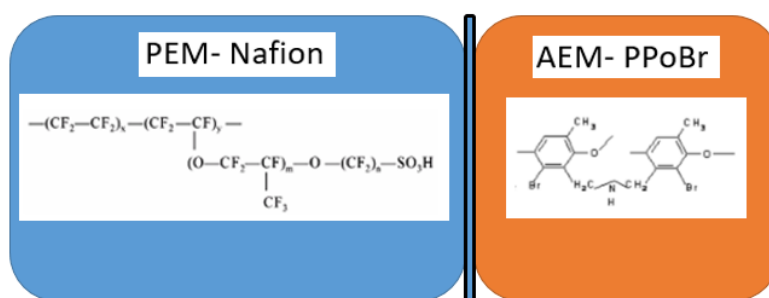
Rezultate obținute în cadrul acestei etape au fost diseminate prin publicarea a două articole în jurnale cotate ISI, depunerea a 2 cereri de brevet și prezentarea a 3 lucrări la conferințe internaționale sub formă de poster.

Descrierea științifică și tehnică- Etapa III Testarea viabilității modelului de sere independentă energetic-II; Data finalizare: 30 Septembrie 2017

A4.1 Fabricare și testare TwinIC-MEA-II

Pilele de combustie bipolare sau hibride sunt în curs de dezvoltare, ca o încercare de a îmbina structura binecunoscută PEM cu avantajele oferite de membranele schimbătoare de anioni [1]. Denumirea „pilă de combustie bipolară” provine de la polaritatea opusă a electrozilor - un electrod este operat la un pH scăzut, în timp ce celălalt funcționează la un pH ridicat. Astfel de pile de combustie care utilizează atât materiale conductoare de anioni, cât și de cationi, au mai multe avantaje comparativ cu PEMFC (pile de combustie cu electrolit polimeric) sau AEMFC (pile de combustie alcaline). Principalul avantaj este gestionarea îmbunătățită a apei prin auto-hidratare. Proprietățile de transport ale materialului joacă un rol important în determinarea viabilității materialelor membranare și ionomerice.

O membrană bipolară este alcătuită dintr-o membrana CEM monopolară și una AEM suprapuse utilizând un strat intermediar de fază de tranziție între acestea. Pentru a explica transportul ionilor printr-o membrană încărcată, trebuie luate în considerare interacțiunile dintre ioni și grupurile de încărcare fixe din interiorul membranei precum și la interfață. În membranele bipolare, există 3



Figură 1. Structura membranei bipolare.

¹ M. Unlu, J. F. Zhou, and P. A. Kohl, Journal of Physical Chemistry C, 113(26), 11416 (2009).

interfețe: (i) interfața dintre soluția de sare concentrată și membrana schimbătoare de anioni, (ii) interfața dintre membrana anionică și membrana cationică (strat intermediar de tranziție), și (iii) interfața dintre membrana schimbătoare de cationi și soluția de sare diluată. Printre aceste trei interfețe, stratul intermediar de tranziție este cel mai dificil de observat deoarece concentrația nu poate fi măsurată experimental. Proprietățile de transport ale membranelor Bi-Polare sunt destul de diferite de cele ale membranelor monopolare. Atunci când un câmp electric este stabilit printr-o membrană bipolară, anionii și cationii conținuți în stratul intermediar migrează prin AEM și CEM în direcția câmpului electric. În plus, joncțiunea dintre cele două straturi PEM/AEM este un element critic în determinarea performanței dispozitivului deoarece trebuie să fie bun conductor pentru speciile ionice și stabilă mecanic pentru a rezista la presiunea internă indusă de formarea apei.

În cadrul acestei etape au fost finalizate studiile privind ansamblu membrana-electrod (MEA) (sinteza/condiționarea și caracterizarea). Au fost selectate următoarele materiale:

- Nafion- membrana schimbătoare de cationi
- PPOBr- membrana schimbătoare de anioni
- Pt/C- catalizator, optându-se pentru o încărcare de $0.6\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru anod, respectiv $1\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru catod

Tabel 1. Proprietăți fizice ale membranelor schimbătoare de ioni folosite în fabricarea TwinIC-MEA

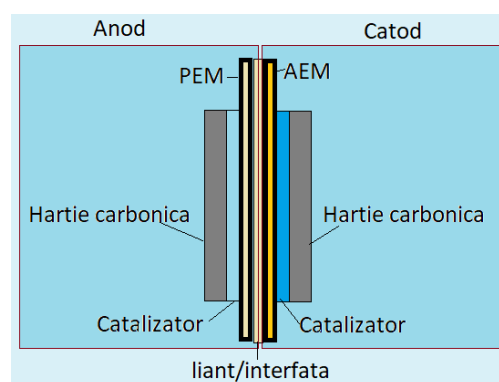
	PEM-Nafion	AEM-PPoBr
Grupuri funcționale active	$-\text{SO}_3\text{H}^+$	$-\text{N}^+(\text{CH}_3)\text{OH}^-$
Grosime membrană (μm)	50	50
Conductivitate (mS/cm)*	100	21.2
Grad de gonflare (%)	24	7.31
Capacitate de schimb ionic (meq/g)**	1.01	2.77

*determinată prin spectroscopie de impedanță
**Capacitate de schimb cationic pentru PEM, respectiv capacitate de schimb anionic pentru AEM

Etape de fabricare ansamblu membrana-electrod (MEA):

- 1. Activarea membranei cationice Fumapem F-14100:** Membrana în formă H^+ se tratează în soluție de 10% HNO_3 timp de 3h la o temperatură de 90°C , se spală cu apă demineralizată, se fierbe în apă demineralizată timp de 1 h la 90°C , apoi se spală din nou cu apă demineralizată (până la $\sim\text{pH } 7$) și se păstrează în soluție 0.5 M H_2SO_4 .
- 2. Activarea membranei anionice PPOBr:** Membrana trebuie să fie stocată în M NaCl soluție 1M și plasată într-un recipient închis. În cazul în care depozitarea va fi pentru o perioadă mai lungă de timp se adăugă 100 ppm de NaN_3 pentru a preveni deteriorarea.
- 3. Pregătirea stratului de difuziune gaze (GDL):** Hârtia Carbonică Torray Teflonată se taie în suprafețe de $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ și se cântăresc. Pe suprafețele acestora se va depune un InkNanoCarbonic la o temperatură de 140°C astfel încât încărcarea de nanocarbon să fie de $\approx 1\text{mg}/\text{cm}^2$.
- 4. Depunerea Catalizatorului:** Catalizatorul cântărit este amestecat cu o cantitate minimă de apă+soluție de Nafion 5%, apoi peste acestea este turnată o cantitate de 5-10ml alcool isopropilic. Soluția este ținută în baie de ultrasunete timp de 10 minute. Apoi este depus pe GDL prin pulverizare la o temperatură de 100°C a substratului. Se folosește o încărcare de catalizator de $0.6\text{mgPt}/\text{cm}^2$ la anod, respectiv, $1.2\text{mgPt}/\text{cm}^2$ la catod.

- 5. Formare MEA:** Se utilizează o soluție diluată de Nafion care se depune pe electrozi după ce catalizatorul a fost uscat în totalitate. Se formează mai întâi jumătăți de celulă (Suport carbonic/catalizator/membrană)- compartiment anodic, respectiv catodic, care ulterior se



Figură 2. Reprezentare schematică a ansamblului membrana-electrod TwinIC-MEA.

presează la cald pentru a forma MEA.: 50kg/cm², cu temperatură de 100°C pentru 30 minute.

Testare MEA- curbe de polarizare. Primul pas în protocolul de testare MEA constă în activarea catalizatorului prin rularea unui program de voltametrie ciclică, în următoarele condiții experimentale: interval de potențial: 5-1230mV, rată de scanare: 300mV/s, număr de cicluri: 500, electrod auxiliar și electrod de referință- anod alimentat cu Hidrogen, 200 SCCM, 150 kPa backpressure, electrod de lucru- catod alimentat cu Azot, 300 SCCM, 200 kPa backpressure. Pasul final este ridicarea curbei de polarizare, în următoarele condiții: anod alimentat cu hidrogen, 200 SCCM, 150 kPa backpressure, catod alimentat cu aer, 800 SCCM, 200 kPa backpressure, temperatura celulei: 80°C, umiditatea relativă în celulă: 80%.

Rezultate și discuții. MEA obținută astfel a fost testată în pila de combustie, rezultatul fiind o densitate de putere de aprox 5 mW/cm², la o densitate de curent de 15 mA/cm² așa cum se poate observa în Figura 3.

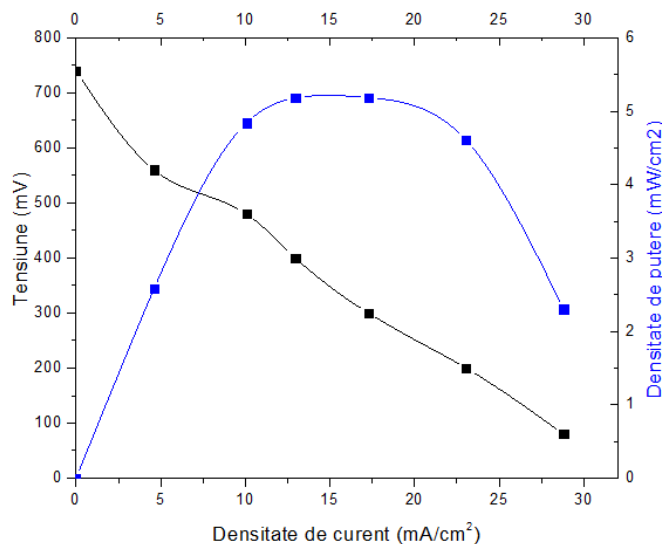


Figura 3. Curba de polarizare TwinIC-MEA, electrolit : Nafion/PPoBr, incarcare catalizator Pt/C- 0.6 mg/cm² la anod, respectiv 1.2 mg/cm² la catod, conditii de operare : temperatura celulei : 80°C, 100 kPa contrapresiune anod, respectiv 150kPa catod, 200SCCM hidrogen (anod), 800 SCCM aer (catod), umiditate relativa 80%

În timpul funcționării normale a unei celule de combustibil PEM, hidrogenul și oxigenul se combină pentru a produce apă și curent electric util. La curenții mici, se produc cantități mici de apă. Odată cu creșterea curentului, se produce mai multă apă, care este atât benefică, cât și dăunătoare performanței și duratei de funcționare a celulei. Umiditatea suplimentară a apei scade rezistența membranei electrolitice, sporind astfel performanța. În același timp, excesul de apă poate scurta durabilitatea celulei de combustibil. Printre altele, excesul de apă poate facilita creșterea particulelor de catalizator prin maturarea Ostwald² (cauzează pierderea zonei active din punct de vedere electrochimic); erodează și dizolvă electrolitul ionomerului Nafion³; provoacă degradarea straturilor de catalizator și / sau de difuzie a gazului⁴; cauza inundării în canalele de curgere a gazului catodic și în stratul de difuzie a gazului⁵; și curățarea contaminanților din celule și componentele stivei⁴. Unele dintre aceste efecte pot fi reversibile; altele, cum ar fi leșierea contaminanților sau pierderea zonei active din punct de vedere electrochimic, evident nu sunt.

Perspective. Se vor continua studiile în această direcție, i.e. membrane bipolare pentru pile de combustie. Optimizarea acestor caracteristici și progresele înregistrate în fabricarea MEA-urilor bipolare deschide calea pentru o nouă generație de PEMFC fără auto-umidificare și de gestionare a apei.

2 Z. Yang, S. Ball, D. Condit, M. Gummalla, J. Electrochem. Soc., 158 (2011), pp. B1439-B1455

3 J. Xie, D.L. Wood III, D.M. Wayne, T.A. Zawodzinski, P. Atanassov, R.L. Borup, J. Electrochem. Soc., 152 (2005), pp. A104-A113

4 S.G. Kandlikar, M.L. Garofalo, Z. Lu, Fuel Cells, 11 (2011), pp. 814-823

5 S.D. Knights, K.M. Colbow, J. St-Pierre, D.P. Wilkinson, J. Power Sources, 127 (2004), pp. 127-134

A4.2 Pila de combustie TwinIC (Model experimental)

Stabilirea datelor tehnice de proiectare privind realizarea unui model experimental de pilă de combustie cu membrană bipolară schimbătoare de ioni de tip Twin-IC. Tema de proiectare.

1. Date tehnice și noțiuni generale a modelului experimental de pilă de combustie cu membrană bipolară schimbătoare de ioni de tip Twin-IC

Denumirea modelului experimental realizat în cadrul acestei etape a desfășurării proiectului este pila de combustie cu membrană schimbătoare de ioni bipolară de tip Twin-IC. Codul proiectului tehnic este PC – FCF - 00.

Pila de combustie reprezintă un sistem electrochimic care transformă energia chimică a hidrogenului în energie electrică și apă reziduală. Combustibilul utilizat este hidrogenul și este situat la anod, iar la catod se utilizează oxidantul care este oxigenul sau chiar aerul. Spre deosebire de baterie, care este un sistem închis, pila consumă combustibilul de la anod prin oxidare electrochimică generând curent electric continuu de joasă tensiune.⁶

Avantajele utilizării sistemelor energetice pe bază de pile de combustie sunt următoarele: produc curent electric continuu la tensiuni scăzute și intensități medii; nu produc poluarea mediului ambiant; funcționează fără vibrații sau zgomote, neavând elemente în mișcare etc. Funcția principală a pilei de combustie este aceea de a transforma continuu energia chimică a hidrogenului în energie electrică și termică în absența unei reacții de combustie directă.

Principiul de funcționare al pilei de combustie hibride cu PEM la anod/AEM la catod (Figura 4). În configurația (a), hidrogenul este oxidat la anod în condiții alcaline, formând apă. Potențialul standard este mai negativ decât în condiții acide. Reacția de reducere a oxigenului are loc la catod –PEM, rezultând apă, ecuația.

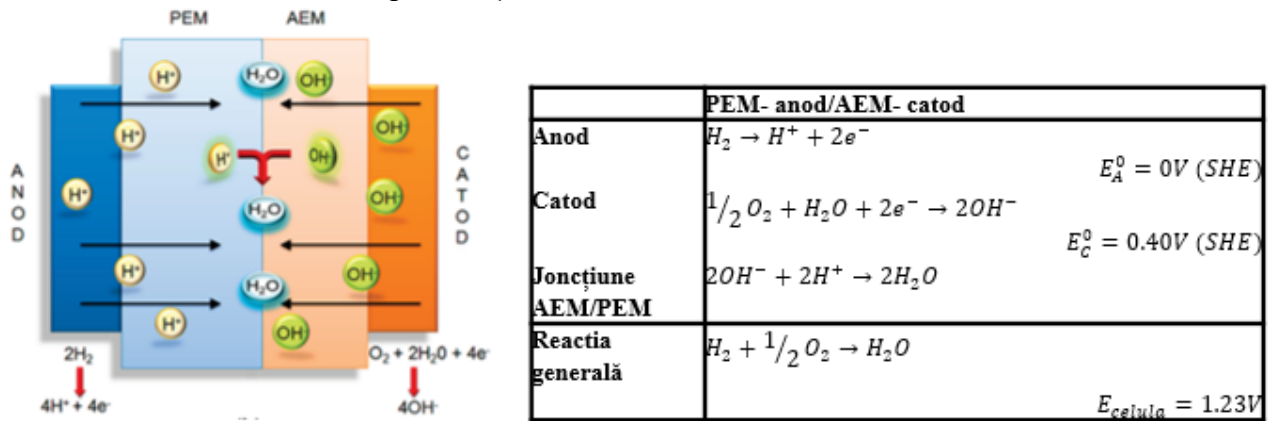


Figura 4. Mecanismul de operare a pilei de combustie hibride în configurația PEM la anod/AEM la catod

În această configurație, hidrogenul este consumat la anodul PEM și oxigenul este consumat la catodul AEM. Protonii migrează de la anod către joncțiunea PEM/AEM, iar ionii hidroxil migrează de la catod către joncțiunea PEM/AEM, unde se recombină cu protonii pentru a forma apă. Ionii OH^- migrează în interiorul AEM către anod, în timp ce ionii H^+ din PEM către catod, la interfața celor două membrane formându-se apa [7,8]. Potențialul de joncțiune, E_j , constituie o perturbare suplimentară la potențialul Nernst:

$$E_{celula} = E_{Nernst} + E_j = E_C - E_A + E_j \quad (1)$$

$$E_{celula} = E_C^0 - E_A^0 + \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{P_{O_2}^{1/2} P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right] + \frac{RT}{F} \ln [a_{OH^-}^{AEM} a_{H^+}^{PEM}] + E_j \quad (2)$$

unde E_C este potențialul catodului, E_A este potențialul anodului, $E_j = \Phi^{PEM} - \Phi^{AEM} = (RT/F) \ln(K_W/a_{OH^-}^{AEM} a_{H^+}^{PEM})$ (din ecuația 8). Termenii legați de activitate în potențialul Nernst și potențialul joncțiunii se anulează. Astfel se obține un potențial al celulei de 1.23V, la care se adaugă corecția pentru presiunile parțiale ale gazelor, indiferent de pH-ul AEM sau PEM:

⁶ I. Ștefănescu ș.a. Pile de combustibil - între teorie și practică, Editura Conphys, Rm. Vâlcea, 2010.

⁷ Hurwitz, H. D.; Dibiani, R. Electrochim. Acta 2001, 47, 759–773

⁸ Strathmann, H.; Rapp, H. J.; Bauer, B.; Bell, C. M. Desalination 1993, 90, 303–323

$$E_{Celula} = 1.23 + \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{P_{O_2}^{1/2} P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right] \quad (3)$$

2. Alegerea si stabilirea principalelor elementelor de definire a ansamblului pilei de combustie

În cadrul acestei etape a proiectului a fost implementat un concept tehnic și constructiv privind realizarea unei pile de combustie cu membrana bipolară schimbatoare de ioni, care să conducă la elaborarea unei teme de proiectare pentru acest model experimental. În urma analizei tehnico-stiințifice în ceea ce privește proiectarea și realizarea pilei de combustie, au fost necesar de îndeplinit următoarele condiții:

- pila de combustie va fi un model experimental de puteri mici, pentru teste la nivel de laborator;
- efectuarea de experimentari privind generarea energiei electrice prin conversia electrochimică, cât și teste pentru durata de viață a ansamblului MEA, în diferite condiții de operare (presiuni cuprinse între 0,3...1 bar și la temperaturi de 25...65 °C);

Conceptul general al unei pile de combustie pe bază de hidrogen, trebuie să asigure un grad de compactitate cât mai ridicat, pentru realizarea unui indicator volum/putere electrică cât mai scăzut. Deoarece găurile de distribuție a gazelor reactante de la găurile comune până la sistemul canalelor serpentină adiacente membranelor trebuie să aibă o anumită arie de trecere, ele induc o grosime apreciabilă a placilor bipolare. Reducerea semnificativă a grosimii acestor plăci se poate realiza prin lipirea cu un adeziv conductiv a două semiplaci, fiecare semiplacă având realizate canalizații speciale.

Placa bipolară astfel concepută trebuie să îndeplinească următoarele condiții: etanșeitate între traseele de fluide; contact electric între cele două semiplaci; distribuția gazului reactant (hidrogen sau oxigen) de la găurile comune până la găurile de distribuție ale sistemului de canalizații adiacente membranei; suprafețele laterale exterioare plane pentru etanșarea ansamblului.

3. Specificații și caracteristici principale privind ansamblul pila de combustie de tip Twin-IC

Ansamblul pilă de combustie cu membrană schimbatoare de ioni bipolară prezintă următoarele caracteristici tehnice principale:

- Mediul intern de lucru: hidrogen și oxigen;
- produși reacție: energie electrică și apă.
- Debite alimentare gaze:
 - hidrogen: 0,5cm³/min;
 - oxigen: 1cm³/min;
- Domeniu presiune de lucru: 0,3-1 bar;
- Temperatura domeniu de lucru: 25...65 °C;
- Tensiunea de ieșire: 0,5V;
- Densitate curent: 0,35A/cm²;
- Intensitate curent: 8A;
- Putere electrică instalată: 4W;
- Dimensiuni ansamblul membrană-electrod (MEA): 50x50mm;
- Dimensiuni membrană: 90x90mm.
- Greutate pilă combustie: 1,7 kg;

Principalele părți componente ale pilei de combustie sunt următoarele:

- | | |
|---|---|
| -2 plăci de capat otel inoxidabil 1.4307 (cod desen PC-FCF-01); | - 2 șuruburi M4x6 |
| -2 plăci colectoare curent cupru (cod PC-FCF-02); | - 2 piulițe A4; |
| - 2 plăci bipolare grafit (cod desen PC-FCF-03); | - 4 stifturi de centrare; |
| - 2 garnituri cauciuc siliconic; | - 4 racorduri conexiune gaze alimentare; |
| - 8 șuruburi de strângere M6x50 mm; | - 1 MEA formată din membrană cationică Nafion; membrană anionică PPOBr; 2 buc |
| - 16 șaibe A6; | hârtie carbonică teflonată 3x3 cm; Catalizator: |
| - 16 piulite M6; | 0.6 mgPt/ cm ² la anod, 1.2 mgPt/ cm ² la catod; |

4. Noțiuni privind dimensionarea ansamblului pilă de combustie

Dimensionarea subansamblelor este specificată în desenele tehnice utilizate ca anexe. Dat fiind faptul că executarea plăcilor de capăt, plăcilor de grafit și plăcilor colectoare de curent, precum și realizarea sistemului de etansare, sunt elemente foarte importante în realizarea unei pile de combustie cu performanțe ridicate, s-a conceput și abordat o variantă constructivă simplă și eficientă din punct de vedere tehnic și funcțional.

În literatura de specialitate, cele mai utilizate geometrii pentru membrana polimerică sunt cea circulară și cea pătrată. Dacă din punct de vedere constructiv nu sunt diferențe majore între cele 2 forme, din punct de vedere economic, forma pătrată este preferată deoarece la trasarea și decuparea acesteia din folia de bază a membranei rămân foarte puține resturi și deci costul unitar pentru membrană scade. Pentru proiectarea pilei de combustie, a fost aleasă forma pătrată pentru membrană, având în vedere avantajele tehnico-economice ale acestei variante. Cunoscând că suprafața activă a membranei este de 25 mm^2 , atunci se pot determina dimensiunile pilei, dacă se stabilește forma constructivă și gabaritul acesteia.

5. Calculul dimensional pentru plăcile de capăt

Pentru dimensionarea plăcilor de capăt este necesar să se asigure o valoare bine determinată, astfel încât, la dimensiunea membranei se mai adaugă pe fiecare latură câte 13 mm, pentru a asigura etansarea, a oferi spațiu pentru gaurile suruburilor de strângere, astfel încât valoarea finală a laturii plăcilor de capăt va fi de 116 mm (conform anexă cod desen PC – FCF – 01).

Latură placă capăt = latură membrană + toleranță constructivă = $90 + 26 = 116 \text{ mm}$

Pentru dimensionarea plăcilor de grafit s-au adoptat următoarele valori:

Placă bipolară grafit = $90 \times 90 \text{ mm}$ (cod desen PC – FCF – 03)

Plăcile de cupru sunt sub formă de pătrat cu următoarele dimensiuni:

Placă cupru colector curent = $90 \times 90 \text{ mm}$ (cod desen PC – FCF – 02)

Dimensiuni garnituri cauciuc siliconic: pătrat cu latura exterioară de 90 mm, și degajare interioară sub formă de pătrat cu latura de 52 mm.

6. Geometria sistemului de canale tip serpentină pentru alimentarea cu gaze de reacție

Având în vedere sistemul de conducere și distribuție a gazelor de alimentare a pilei de combustie, respectiv a oxigenului și hidrogenului, aceste gaze se introduc separat pe fiecare parte a membranei, circulând prin canalizațiile practicate în plăcile de grafit și realizând reacțiile electrochimice sub acțiunea catalizatorilor încorporați în ansamblul MEA.

Geometria sistemului de serpentine circulație gaze realizate pe plăcile bipolare din grafit este prezentată în desenul cod PC-FCF-03. Canalele sunt prelucrate cu freza deget cu diametrul 1 mm pe o adâncime de 1,2 mm. Canalizațiile tip serpentină prezintă 4 coturi la 180° și 5 canale de început. Pasul între două canalizații succesive este de 2 mm.

7. Cerințe tehnice privind alegerea sistemului de etanșare

Ținând cont de condițiile de funcționare a pilei de combustie, o problemă importantă constă în alegerea unui sistem de etanșare eficient și sigur în exploatare. Alegerea sistemului de etanșare se realizează în mai multe etape după cum urmează: (1) Analizarea parametrilor din punct de vedere al presiunii, temperaturii, corozivității mediului de reacție, al regimului dinamic al modelului experimental, precum și din punct de vedere al normelor tehnice de securitate privind utilizarea gazelor explozive și inflamabile. (2) Analizarea posibilităților tehnice ale etanșărilor preconizate, ținând cont de limitele de presiune, temperatură și rotație dacă este cazul. (3) Stabilirea tipului constructiv al etanșării axiale statice tip flanșă. (4) Stabilirea tipurilor de materiale pentru elementele etanșării axiale statice.

Ținând cont de cele enunțate, pentru ansamblul pila de combustie Twin-IC a fost stabilit un sistem de etansare de tip static axial, acesta fiind alcătuit din următoarele părți componente: - garnituri plate din cauciuc siliconic pentru etanșarea membranei pe suprafața plăcilor colectoare de curent din cupru și pe suprafațe plăcilor de grafit; - garnituri de tip O-ring din cauciuc pentru etanșarea găurilor practicate în plăcile de capăt pentru etanșarea racordurilor de alimentare cu gaze.

Asamblarea sistemului de etanșare se realizează în mai multe etape după cum urmează:

1. Se verifică pila de combustie cu privire la dimensiunile de montaj, calitatea suprafețelor, în special în zonele care vin în contact cu etanșările secundare, jocurile axiale și abaterile de la perpendicularitate față de suprafață de așezare a plăcilor.

2. Realizarea eventualelor rectificări necesare în vederea readucerii garniturilor în limitele prescrise pentru montajul etanșărilor.

3. Se montează cu atenție etanșarea axială statică, ținând cont ca montajul să se efectueze corect, fără șocuri, acordând o atenție deosebită protecției suprafețelor de contact.

4. Se verifică etanșeitatea în condiții statice.

Sistemul de etanșare utilizat este de tip static axial și se realizează prin strângerea garniturii între suprafața de contact a plăcii electrod pe suprafața de contact a membranei, utilizând o cheie dinamometrică. La alegerea materialului pentru confecționarea garniturilor s-a ținut cont și de factorul $p \times T$ (presiune \times temperatura), care face posibilă alegerea celui mai eficient material în funcție de condițiile reale de lucru. Temperatura și presiunea sunt parametri care nu trebuie să atingă cota maximă în același timp.

Având în vedere modul de montare a ansamblului de plăci, a fost studiată și selectată o soluție constructivă simplă și eficientă cu membrana modificată. Modificarea membranei a constat în debitarea marginilor la dimensiunile necesare, precum și practicarea găurilor de trecere ale șuruburilor de strângere și a știfturilor de centrare conform desenelor tehnice realizate în procesul de proiectare. Etanșarea se realizează cu ajutorul garniturilor realizate din cauciuc siliconic care se pozitionează de o parte și de alta a membranei.

La aceasta soluție constructivă grosimea determinată pentru garnituri trebuie bine corelată cu grosimea efectivă a membranei în zona centrală, în scopul realizării unei anumite strângeri (și a unei anumite deformății elastice a zonei) astfel încât să îndeplinească următoarele condiții: să asigure etanșeitatea traseelor de alimentare gaze și de evacuare apă reziduală; să asigure un bun contact electric între membrană și plăcile electrod adiacente.

În zona de etanșare a plăcilor electrod și a plăcilor de capăt, anumite dimensiuni (dar și anumite deformății liniare) intră în relații de interdependentă prin intermediul lanțurilor de dimensiuni și toleranțe. Pentru dimensionarea acestei zone se iau în considerare, în primul rând, numai lanțurile de dimensiuni liniare pe direcția perpendiculară la suprafețele de etanșare.

Deoarece la strângerea sub forțele de montaj anumite piese se deformează (elastic sau neelastic), aceste lanțuri de dimensiuni trebuie analizate separat pentru două situații distincte: (a) piese în stare liberă, neasamblate; (b) piese în contextul celei (celulelor) asamblate;

Pentru celelalte materiale precum folia membranei, membrana și hârtia carbonică de tip GDL nu pot fi apreciate deformățiile elastice, decât la modul estimativ, deoarece la acest tip de materiale în mod evident vor fi deformății neelastice (permanente) care sunt datorate montărilor și demontărilor repetate.

8. Specificații și noțiuni tehnice pentru materiale

Materialele utilizate pentru realizarea ansamblului pilă de combustie trebuie să asigure funcționarea optimă în condiții de deplină siguranță. În acest sens, se va ține cont de următoarele condiții:- domeniul uzual al temperaturilor de lucru: 25...65⁰C;- funcționarea la presiuni în domeniul 0,3..1 bar;- la contactul direct cu fluidele de lucru, materialele trebuie să fie inerte din punct de vedere chimic. Materialele utilizate pentru realizarea pilei de combustie, sunt indicate în desenele de tehnice de execuție, conform standardelor europene sau normelor tehnice în vigoare.

• **Plăci de capăt.** Materialul utilizat pentru realizarea plăcilor de capăt este oțelul inoxidabil austenitic nonmagnetic marca 1.4307 (304L). Acest material prezintă următoarele proprietăți: rezistență mecanică, rigiditate și duritate ridicate; reziliență foarte bună; rezistență la fluaj foarte bună; rezistență mare la șoc, chiar și la temperaturi scăzute; stabilitate dimensională foarte bună; proprietăți de alunecare bune și rezistență la uzură; prelucrabilitate bună; rezistență la coroziune foarte bună⁹. Pentru conceptul tehnic și proiectarea plăcilor de capăt, au fost luate în considerare următoarele cerințe:

⁹ <http://www.otelinox.com/ro/products/304l.asp>.

- șuruburile și piulițele necesare pentru strângerea pachetului de piese componente sunt dispuse pe exteriorul pachetului (care are gabaritul unui pătrat de 116 mm);
- toate piesele pachetului, inclusiv plăcile de capăt, sunt centrate și aliniate prin intermediul a patru știfturi de centrare cu diametrul de 3mm;
- deformația elastică a plăcilor de capăt sub efectul forțelor de strângere trebuie să fie cât mai mică posibil, din acest motiv s-a ales o grosime de 13 mm pentru plăcile de capăt;
- plăcile colectoare de curent și plăcile electrod trebuie să prezinte o bună conductibilitate electrică, motiv pentru care pt confectionare lor s-a ales un material cu un conținut de 99,9% cupru.

În procesul inițial de dimensionare a plăcilor de capăt, am efectuat calcule privind forțele de strângere necesare pentru o etanșare optimă și un bun contact electric, rezultând faptul că este necesar un număr de 12 șuruburi de M6x50 mm pentru strângerea pachetului de piese componente a pilei de combustie.

Dupa realizarea unor teste experimentale de compresiune cu o serie de plăci pentru încercări preliminare, am constatat că se poate obtine un nivel de forte de strangere optim pentru o etansare eficienta si un bun contact electric, fiind necesare doar 8 suruburi M6x50. In acest sens, am introdus în procesul de fabricație a plăcilor de capăt aceasta modificare, prin care plăcile sunt prevăzute cu doar 8 găuri de trecere pentru șuruburile de strângere.

• **Plăci bipolare.** Materialul utilizat pentru realizarea plăcilor bipolare este un grafit cu proprietăți privind în special permeabilitatea la hidrogen, conductibilitatea electrică și conductibilitatea termică (Figura 5). Proprietățile grafitului utilizat pentru realizarea plăcilor bipolare sunt date în Tabel 2.

Tabel 2. Proprietăți Grafit FU 4369

Nr. crt.	Caracteristici	U.M.	Grafit FU 4369
1	Densitate	g/cm ³	1,90
2	Rezistenta la incovoiere	MPa	40
3	Duritate Rockwell HR 10/40	HRK	100
4	Rezistenta la flambaj	MPa	50
5	Modulul lui Young (la incovoiere)	GPa	10
6	Modulul lui Young dinamic	GPa	24
7	Conductivitate termica	W/mK	55
8	Rezistenta electrica specifica	μΩm	90
9	Temperatura de incalzire reflectata	°C	190
10	Coeficient de expansiune termica in plan α 20-140°C	10 ⁻⁶ /K	15

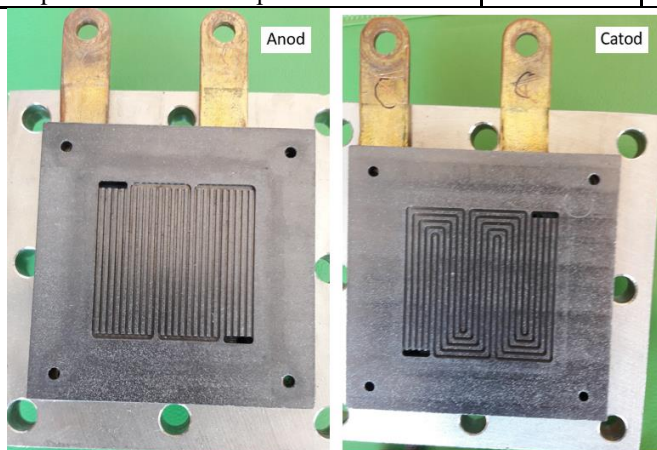


Figura 5. Plăci bipolare pentru anod, respectiv catod fabricate de catre Partener 1- ICSI Rm Valcea

• **Garnituri pentru etanșare.** Materialul utilizat pentru realizarea garniturilor pentru etanșarea ansamblului pila de combustie îl reprezintă cauciucul siliconic cu o duritate scăzută, pentru o mai bună comprimare și etanșare la aplicarea unor forțe de compresiune scăzute.

Tabel 3. Proprietăți cauciuc siliconic

Nr. crt.	Caracteristici	U.M.	Cauciuc siliconic EPDM 60
1	Grosime	mm	0,25
2	Rezistență la tractiune	psi	800
3	Duritate	A	35

4	Elongație	%	450
5	Culoare		crem

• **Plăcile colectoare de curent** sunt utilizate pentru colectarea energiei electrice obținute din reacțiile electrochimice ale hidrogenului la nivelul suprafeței membranei. Materialul utilizat pentru realizarea plăcilor colectoare de curent este cuprul tehnic cu o puritate de 99.9%. Acest material este un foarte bun conductor termic cât și electric.

Tabel 4. Proprietati cupru tehnic 99,9%

Nr. crt.	Caracteristici	U.M.	Cu 99,9%
1	Densitatea	Kg / m ³	8940
2	Punctul de topire	°C	1083
3	Coeficient de dilatare termica liniara 1K 20...300°C	de la 25...100°C	16.8 x 10 ⁶
4	Coeficient de dilatare termica liniara 1K 20...200°C	de la 20...200°C	17.7 x 10 ⁶
5	Caldura specifica	J / Kg K	385
6		cal / g °C	0.0921
7	Conductivitate termica	W / Km	295
8		cal / cm s °C	365
9	Rezistenta de rupere la tractiune RM (N/mm ²)	min. 380	
10	Limita de curgere Rp 0.2 (N/mm ²)	min. 360	
11	Alungirea A5 (%)	min. 3	
12	Duritatea Vickers (HV)	125	
13	Duritatea Brinell (HB)	110	

9. Condiții tehnice pentru asamblare si montaj. Montajul reperelor se realizeaza astfel:

- se verifica toate partile componente din punct de vedere tehnic si calitativ;
- se aseaza placa de capat pe un suport special construit pentru a o distanta de suprafata bancului de lucru, pentru a permite un montaj usor si precis;
- se monteaza (prin infiletare) racordurile de alimentare in placile de capat;

- se monteaza inelele o-ring in degajarile prevazute in placile de capat si placile colectoare curent;
- pe fata interioara a placii de capat stanga se aseaza placa colectoare curent stanga tinand cont de pozitionarea inelelelor de oring de etansare;

- pe placa electrod se pozitioneaza placa de grafit avand grija ca gaurile de circulatie a gazelor sa fie in corespondenta directa cu gaurile prevazute in placa colector curent;
- se pozitioneaza garnitura de cauciuc siliconic pe suprafata placii de grafit unde este prevazuta canalizatia, tinand cont de gaurile de centrare din placa;
- se pozitioneaza ansamblul MEA peste garnitura de cauciuc;
- se introduc prezoanele de strangere M6 prin gaurile prevazute in placi, si se strang progresiv piulitele cu ajutorul unei chei dinamometrice in domeniul de forte cuprins intre 1...5N/m;
- se verifica etanseitatea sistemului;
- se verifica daca contactele electrice sunt corespunzatoare¹⁰.

10. Conditii tehnice pentru testare si experimentare

Dupa realizarea montajului si a asamblarii electrolizorului, este necesar a se proceda la o incercare pneumatica de etanseitate, pentru a depista eventualele scapari de gaze (hidrogen si oxigen) spre exterior. Incercarea de etanseitate se realizeaza utilizand ca gaz de lucru heliul, care este un gaz inert si care nu influenteaza structura interna a pilei de combustie. Incercarea de etanseitate implica urmatoarele operatiuni:

- montarea pe un suport special pentru evitarea unor posibile accidente in timpul incercarilor.

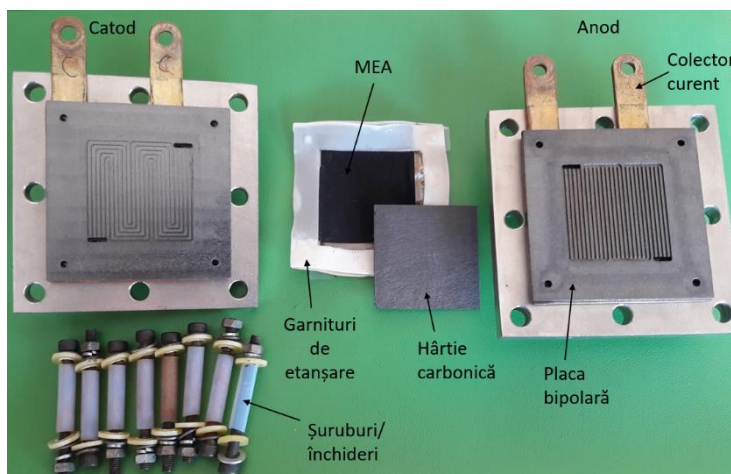


Figura 6. Pila de combustie fabricata de Partener 1- ICSI

¹⁰ STAS 6269-90. Documentatie tehnica in constructia de masini.

- se obtureaza cate un racord de pe ambele fete ale pilei, lasand libere pe celelalte doua;
- se ataseaza cate un furtun la fiecare racord, iar acestea se conecteaza la cate o butelie cu heliu;
- se regleaza presiunea pentru fiecare traseu la valoarea de maximum 1 bar;
- se mentine aceasta presiune timp de 30 minute;
- presiunea pe cele doua trasee, respectiv pe fetele membranei, trebuie sa fie constanta fara diferente majore deoarece membrana se poate deteriora prin fisurare;
- se verifica cu detectorul de gaze eventualele scapari¹¹¹²¹³¹⁴;

Inercarea pneumatica de etanseitate se considera reusita daca nu se constata: scurgeri de gaze pe la imbinari; deformari plastice vizibile, fisuri sau crapaturi ale elementelor verificate; scaderea presiunii in sistem. In cazul in care se constata pierderi de gaz, se constata cauza care a generat aceasta problema si se remediaza.

Act 4.3. Instalarea sistemelor (panouri fotovoltaice, reactor biogaz, stack pile de combustie/electrolizor) în seră-IV

In etapele anterioare au fost instalate toate subsistemele necesare pentru functionarea independenta a serei: panouri fotovoltaice, reactor biogaz, stack pile de combustie/electrolizor. In cadrul acestei etape a fost conceput, realizat si instalat un sistem complex de monitorizare a parametrilor importanti in functionarea unei sere in care se cultiva rasaduri/legume.

Cerinte- monitorizarea următorilor parametrii:

- temperatură (50 puncte = interior cub: 3 x 4 x 4, 2 senzori pentru exterior)
- CO₂ / presiune atm. / umiditate / intensitate luminoasă (IR, Vis, UV) (8 puncte = interior 3 x 2, 2 exterior)
- factor de putere inverter (2 puncte = 2 consumatori)
- eficienta panouri solare (2 puncte = 2 arii)

Sistemul de senzori a fost dezvoltat în jurul microcontrollerului ATMEGA328P-PU care conține un microprocesor cu arhitectură RISC împreună cu 32Kb de memorie Flash, programabilă de aproximativ 10,000 de ori, 1Kb de memorie EEPROM, 2Kb de memorie SRAM și 23 de intrări/ieșiri programabile. Alegerea acestui microprocesor s-a bazat pe următorii factori: consumul redus de energie electrică (81.8mW pentru alimentarea cu 5V și rulând la 16MHz), numărul redus de componente necesar pentru funcționare (4 capacitatoare și un rezonator cu cuarț) și multitudinea de interfețe disponibile (I2C, SPI, UART, 1Wire), permițând conectarea unui număr mare de senzori. Am ales versiunea în capsulă DIP-28 pentru ușurința în proiectarea circuitului imprimat și testarea inițială utilizând breadboard.

Toate modulele conțin un rezonator cu cuarț cu frecvența de 16MHz, conectat utilizând ca sarcină condensatoare ceramice cu valoarea de 18pF. Sursa de tensiune internă, accesibilă prin pinul 21, este decuplată printr-un capacitor cu valoarea de 100nF, la fel și sursa de tensiune externă, care alimentează circuitul prin intermediul pinilor 7 și 20. Resetarea circuitului se realizează prin introducerea temporară a unui jumper prin care pinul 1 este conectat la potențial nul, în mod normal acesta fiind polarizat pozitiv prin intermediul unui rezistor cu valoarea de 10KΩ. Pinul 1 este conectat prin intermediul unui capacitor, la terminalul DTR al interfeței de programare în circuit (ICSP). În acest fel, în momentul programării microcontrollerului, acesta este resetat automat pentru inițierea procesului de încărcare al programului ce urmează a fi executat. Folosit pe post de indicator al funcționării corecte, la pinul 15 este conectat un LED de culoare albastră. Pinul 15 prezintă capacitatea de modulare a factorului de umplere. În timpul funcționării, acesta poate avea patru stări: 2 pulsuri: reprezintă starea inițială a circuitului, momentul în care acesta și-a inițializat corect perifericele, 3 pulsuri: reprezintă inițierea senzorilor conectați la dispozitiv și înregistrarea corectă a acestora, 4 pulsuri: în timpul funcționării, modulul poate primi senzori suplimentari

¹¹ Prescripția tehnica ISCIR PT C5-2003. Cerințe tehnice privind utilizarea recipientelor butelii pentru gaze comprimate, lichefiate sau dizolvate sub presiune.

¹² Prescripția tehnica ISCIR PT C4-2003. Cerințe tehnice privind montarea, instalarea, exploatare, repararea și verificarea recipientelor metalice sub presiune.

¹³ Prescripția tehnica I.S.C.I.R. PTC 6-2003. Cerințe tehnice privind instalarea, exploatare, repararea și verificarea conductelor metalice pentru fluide.

¹⁴ O.G. nr. 60/1997 privind apărarea împotriva incendiilor aprobată prin Legea nr. 2112/1997, modificată prin O.G. nr. 114/2000.

Pentru conexiunea între module, am ales o interfață serială, de tip UART, utilizând două fire pentru date și două fire pentru alimentare. Datorită lungimilor cablurilor implicate, stabilirea unui potențial comun nul este imposibilă. Căderile de tensiune pe conductoare vor influența modul în care informația este transmisă. Pentru acest motiv am ales trei soluții tehnice: viteza de 9600 bauds, aleasă pentru a permite distanțe de până la 600 de metri, fără utilizarea compensării impedanței cablurilor; utilizarea unui protocol diferențial, independent față de potențialul nul și implementarea de surse de tensiune stabilizate în fiecare dintre modulele realizate.

Transcieverul RS485 utilizat este MAX485. Acesta asigură o funcționare half-duplex. Schimbarea între cele două moduri (transmiterea și recepționarea de informații) se obține prin conectarea pinului 4 al ATMEGA328P-PU la pinii 2 și 3 ai transcieverului. Pentru flexibilitate în utilizare, conexiunea fiecărui modul se face prin intermediul a numai 4 fire: VCC, A, B și GND. Sursa de tensiune în comutație poate fi eliminată prin intermediul unui jumper. În acest fel, pentru module care sunt situate la distanță mică, poate fi utilizată o singură sursă de tensiune în comutație, pentru creșterea randamentului.

Majoritatea senzorilor disponibili comercial pot fi găsiți în varianta cu interfață I2C. Singurul inconvenient este existența a două tipuri de senzori: cei care funcționează cu semnale cu amplitudinea de 5V și cei care funcționează cu semnale cu amplitudinea de 3.3V. În acest sens am utilizat un convertor de semnal logic realizat din câte două tranzistoare conectate în configurația de amplificator cu baza comună, în anti-paralel. În acest fel este asigurată o conversie bidirecțională a semnalelor digitale, permițând conectarea pe aceeași magistrală a senzorilor care funcționează cu semnale de 3.3V cât și cei care funcționează cu semnale de 5V. Pentru conversia de nivel logic se poate utiliza și un tranzistor cu efect de câmp în configurația cu poarta comună, însă am preferat robustețea tranzistoarelor bipolare, mai ales în cazul acumulării sarcinilor electrostatice pe conductoarele de legătură cu senzorii.

Pentru stabilirea potențialului de 3.3V, am utilizat un regulator linear integrat din seria 78XX. Având în vedere că diferența de tensiune este mică și curentul utilizat de senzori este de cele mai multe ori neglijabil, am preferat această variantă convertorului în comutație.

Pentru înregistrarea temperaturii, am utilizat o interfață 1Wire conectată la pinul 14 al circuitului integrat ATMEGA328P-PU la care am conectat senzori de temperatură de tip DS18B20, alimentate prin intermediul a două fire prin modul "alimentare parazită".

Pentru ușurința în conectare, magistrala I2C a fost echipată cu conectori molex cu 4 pini. Descrierea corespunde modelului general al modulelor utilizate în realizarea rețelei de senzori.

Senzorii conectați la modulul universal sunt:

- DS18B20 – termometru digital, care poate fi utilizat în domeniul de temperatură -55 - +125°C, măsurând temperatura cu o rezoluție de 12 biți și precizia de +/-0.5°C. Am ales acest tip de senzor pentru ușurința în conectare, adăugând 10 bucăți pentru fiecare dintre module.
- SHT15 – este un senzor de umiditate și temperatură cu interfață I2C, având capacitatea de măsură cuprinsă între 10 și 90% RH, cu o rezoluție de 12 biți și precizie de +/-3% RH.
- MPL3115A2 – este un senzor compact, pirarezistiv pentru măsurarea presiunii atmosferice absolute, cu o gamă de măsură cuprinsă între 20 și 110kPa, cu o rezoluție de 20 de biți, cu o precizie de 0.4kPa. Senzorul folosește același tip de interfață I2C.
- SI1145 – este un senzor pentru lumina ambiantă, IR, UV și Vizibil, cu o plajă de măsură între 1 și 128kLux, interfață I2C, cu o rezoluție de 16 biți, care folosește un algoritm integrat de compensare al preciziei.
- CCS811 – este un senzor pentru măsurarea calității aerului miniatural, având o plajă de măsură între 400 și 8192ppm pentru CO2 echivalent și între 0 și 1187ppb pentru TVOC (compusul organic volatil total), utilizând aceeași interfață I2C.

Primul set de senzori măsoară parametrii de mediu, în timp ce ultimul este utilizat în determinarea parametrilor biologici ai plantelor crescute în seră.

Pentru controlul consumatorilor alimentați în curent continuu, am dezvoltat un modul care conține trei tranzistori de putere de tip MOSFET, care pot comanda sarcini de maximum 100V / 17A, cu o putere totală disipată de 48W.

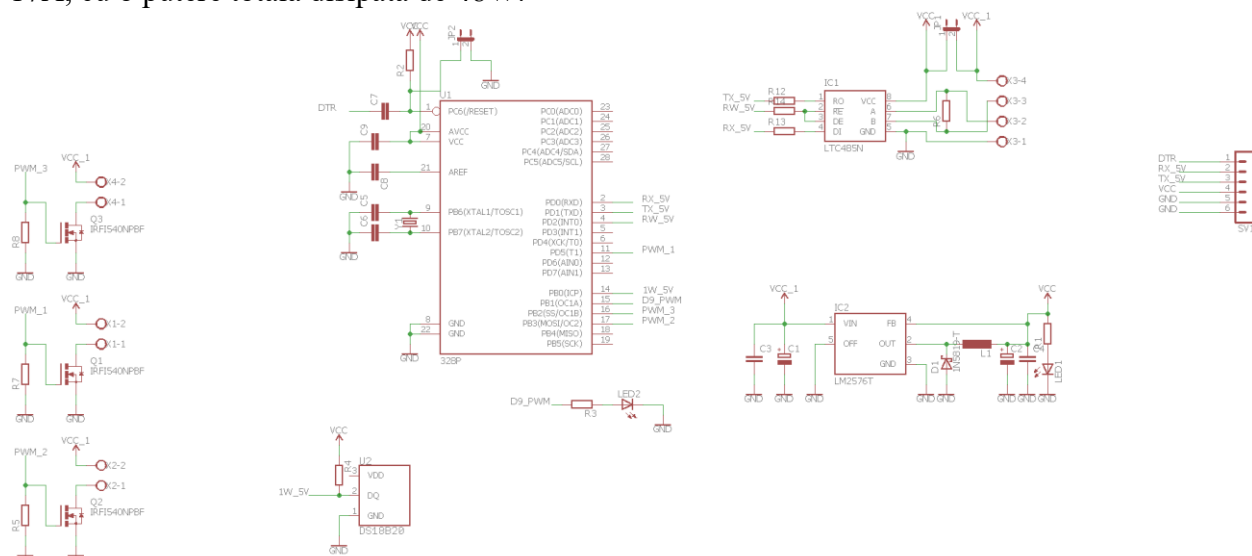


Figura 8. Diagrama modului de comandă folosind tranzistori MOSFET

Pentru flexibilitatea utilizării acestui modul, am utilizat pentru comanda celor trei tranzistori, semnale modulate în factorul de umplere. În acest fel putându-se implementa controlul puterii disipate, în special în situația iluminării folosind LED-uri de putere.

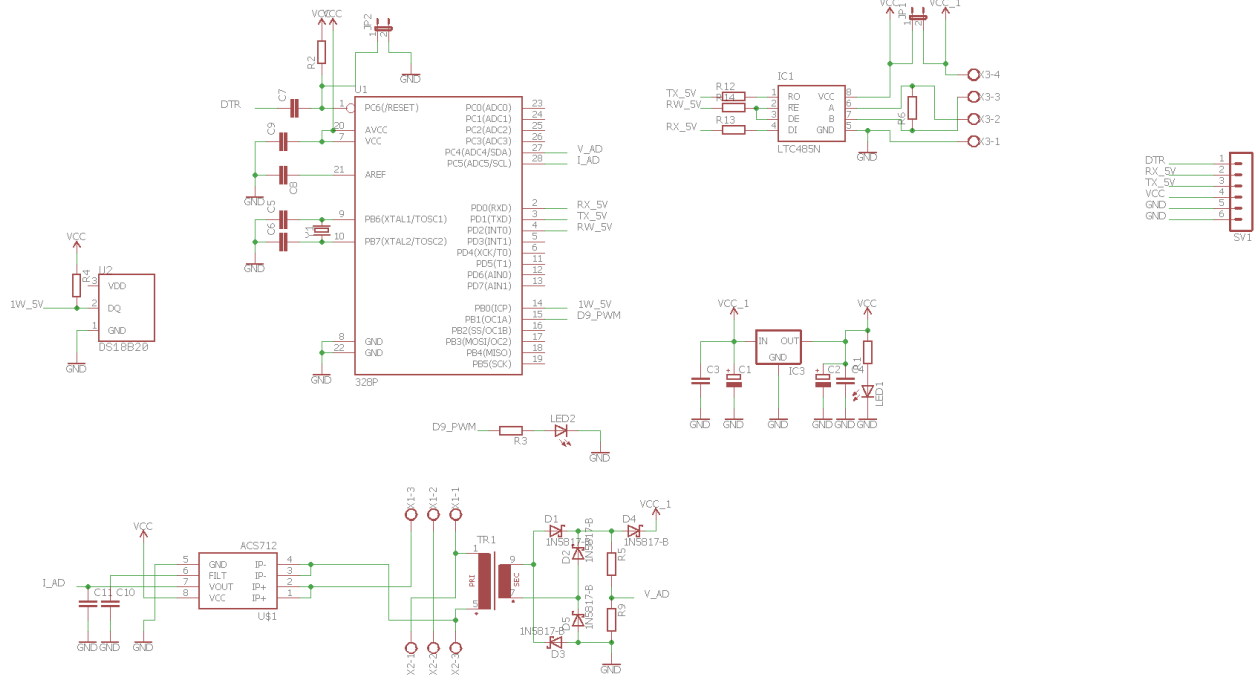


Figura 9. Diagrama modului de măsurare a puterii active și a puterii aparente

Pornind de la modulul de bază, am implementat un modul pentru măsurarea eficienței utilizării convertorului din centrala solară. Măsurarea puterii se realizează prin măsurarea în timp real, cu o frecvență de eșantionare de aproximativ 8700Hz, suficientă pentru a înregistra cel puțin 170 de probe în intervalul unei perioade pentru curentul alternativ cu frecvența de 50Hz. Principiul de funcționare pornește de la expresiile matematice pentru puterea activă și cea aparentă:

$$P(t) = \frac{1}{t} \int_0^t I(\tau) U(\tau) d\tau \quad (4)$$

unde $P(t)$ este puterea activă ca funcție de timp, $I(t)$ este intensitatea instantanee a curentului electric în circuit la momentul t și $U(t)$ este tensiunea electrică instantanee și respectiv,

$$S(t) = \frac{1}{t} \sqrt{\int_0^t I(\tau)^2 d\tau \int_0^t U(\tau)^2 d\tau} \quad (5)$$

Unde $S(t)$ este puterea aparentă ca funcție de timp, $I(t)$ este intensitatea instantanee a curentului electric în circuit la momentul t și $U(t)$ este tensiunea electrică instantanee.

Plecând de la cele două ecuații, prin discretizare, putem reconstrui puterea activă și cea aparentă din probe luate la intervale egale de timp. Lungimea medie a intervalului de timp pentru măsură este de 114μS.

Pentru interpretarea rezultatelor, am utilizat două canale ADC din ATMEGA328P-PU, unul conectat la un senzor liniar de tip Hall pentru măsurarea instantanee a curentului electric din circuit de tip ACS712, care poate decela sensul curentului în circuit și unul conectat la un transformator coborât de tensiune de la 220V la 6V cu puterea maximă de 1.5VA. Circuitul este alimentat prin intermediul transformatorului, folosind o punte redresoare construită din diode Schottky, pentru a minimiza pierderile prin căderea de tensiune pe acestea, urmată de o diodă Scottky care funcționează ca separator între tensiunea filtrată de capacitorele C1 și C3 și stabilizată de un regulator de tensiune monolitic liniar cu cădere mică de tensiune (LDO) de 5V și circuitul de măsură al tensiunii instantanee prin divizorul rezistiv alcătuit din R5 și R9. În acest fel, dioda D9 păstrează forma de undă a tensiunii măsurate. ATMEGA328P-PU este suficient de puternic pentru procesarea instantanee a informațiilor și calculul celor două mărimi, puterea aparentă și puterea activă.

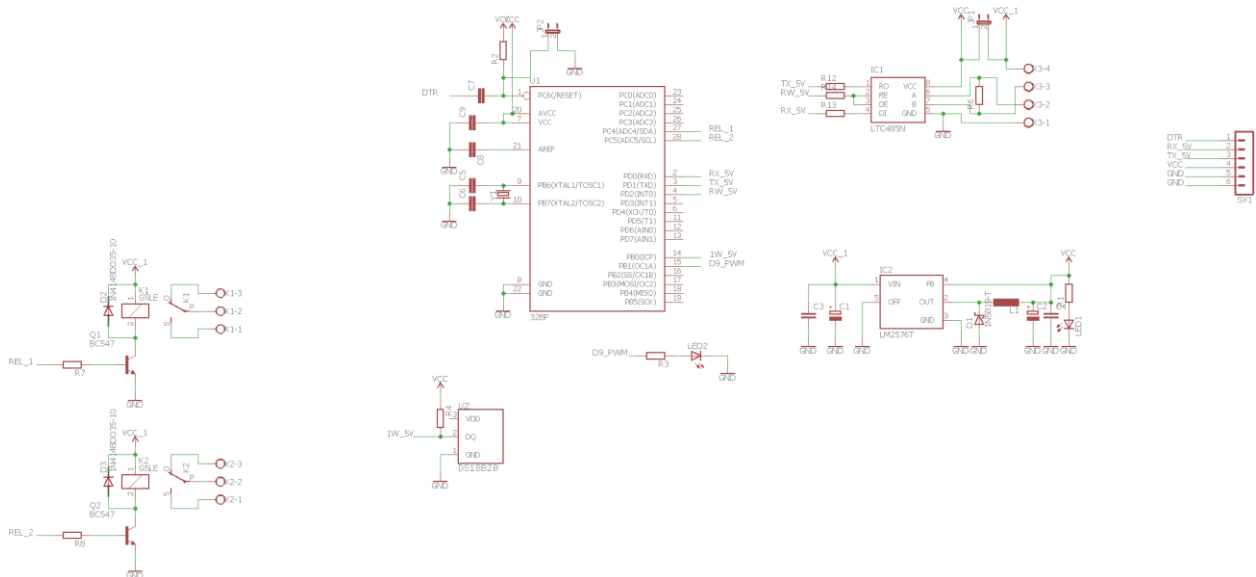


Figura 10. Diagrama modului de comanda utilizând rele

Pentru comanda elementelor de putere mai mare, sau unde este necesară o izolare galvanică (motorul electric al ventilatorului pentru crearea gradientului pozitiv de presiune în pereții solarului), am dezvoltat pornind de la modulul de bază, un modul de comandă utilizând rele electromagnetice. Fiecare modul conține câte două rele cu contacte normal închise și normal deschise, controlate prin intermediul a două tranzistoare bipolare prin intermediul pinilor 27 și 28 ai ATMEGA328P-PU. Având în vedere că modulul este utilizat numai pentru aceste operațiuni, am renunțat la interfața I2C, folosind aceași pini pentru comanda celor două rele, în special din motive bazate pe topologia plăcii de circuit imprimat.

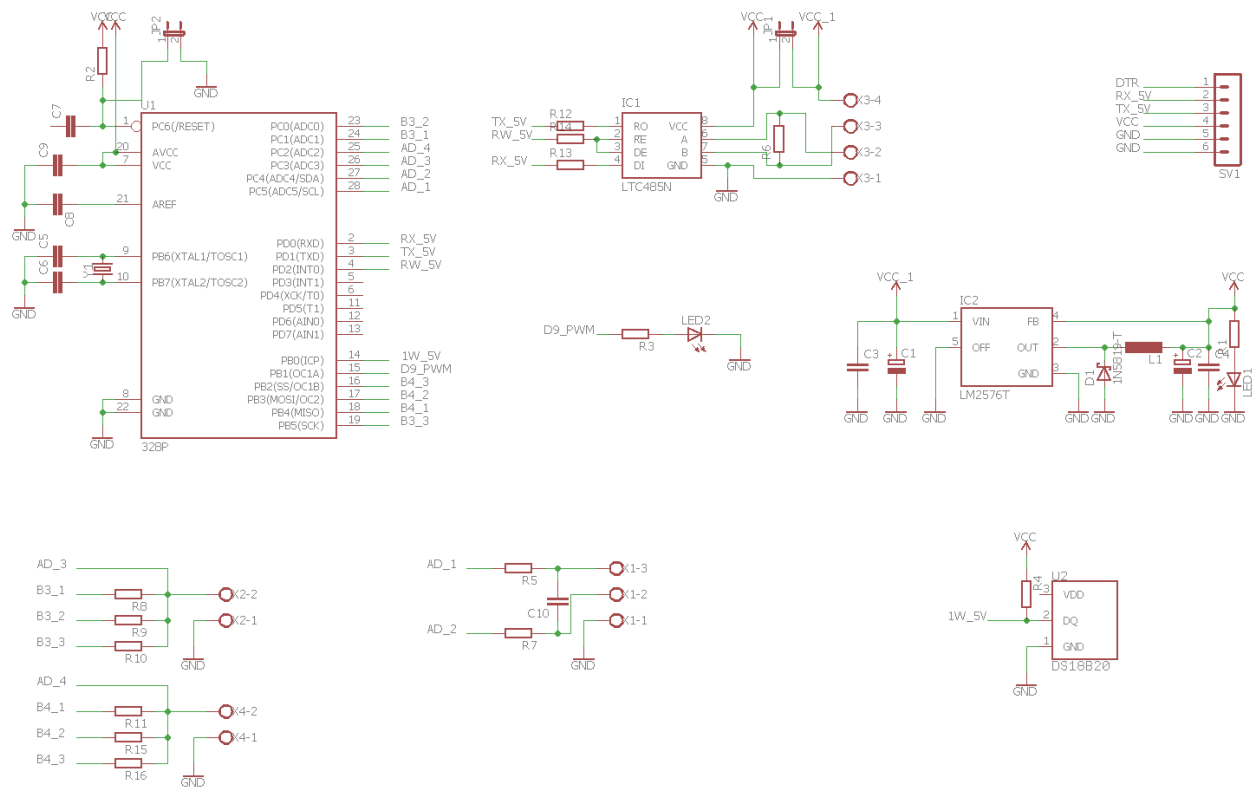


Figura 11. Diagrama modului de măsurare voltametrică

Modulul de măsurare voltametrică conține două componente specifice măsurării eficienței pilelor de combustie. Un modul de determinare a rezistenței interne în timp, alcătuit din grupurile de rezistențe R8-R9-R10 și respectiv R11-R15-R16, conectate la pinii 24-23-19 și respectiv 18-17-16, pini care sunt utilizați fie ca ieșiri digitale conectate la potențialul nul, pentru a asigura închiderea circuitului electric, fie ca intrări digitale, trecându-i în starea de înaltă impedanță, pentru a împiedica trecerea curentului prin circuit (starea de înaltă impedanță garantează impedanțe de

intrare de ordinul zecilor de megaohmi, făcând astfel curentul prin circuit neglijabil). În acest fel s-a implementat o rezistență variabilă cu 8 trepte, care poate fi conectată la bornele unei pile de combustie, în timp ce pinii 25 și 26 sunt utilizați pentru măsurarea tensiunii la borne. Sarcina variabilă poate fi utilizată pentru determinarea rezistenței interne și aproximarea variației în timp a acesteia, determinând starea de activitate a pilei.

Pentru determinarea calitativă a mediului din interiorul pilei de combustie se utilizează un circuit special, realizat cu ajutorul convertoarelor analog-digitale disponibile prin pinii 27 și 28 și profitând de posibilitatea schimbării stării interne a acestora. În mod normal, un circuit digital are nevoie de un convertor digital-analog pentru a genera o tensiune stabilă variabilă și în acest caz tensiunea deține o componentă dreptunghiulară care produce armonice, afectând calitatea semnalului cules. Pentru a elimina acest lucru, am folosit ca sursă de tensiune variabilă descărcarea în timp a unui condensator prin probă. Pentru a evita polarizarea probei, descărcarea se face alternativ. În primă instanță, condensatorul este încărcat prin intermediul rezistențelor limitatoare de curent R5 și R7. Acest lucru este posibil stabilind pinii 27 și 28, ambii ca ieșiri digitale, una conectată la potențialul nul, alta la +5V. După un timp în care condensatorul C10 se consideră încărcat, ieșirea pozitivă este transformată în intrare analogică, măsurând căderea de tensiune pe condensatorul C10. Procesul se reia periodic, în momentul în care sarcina pe C10 scade sub un anumit prag, sau un interval de timp suficient de lung a trecut. Rezultatele sunt ulterior interpretate, obținând astfel posibilitatea determinării activității electrice a mediului din interiorul pilei de combustie.

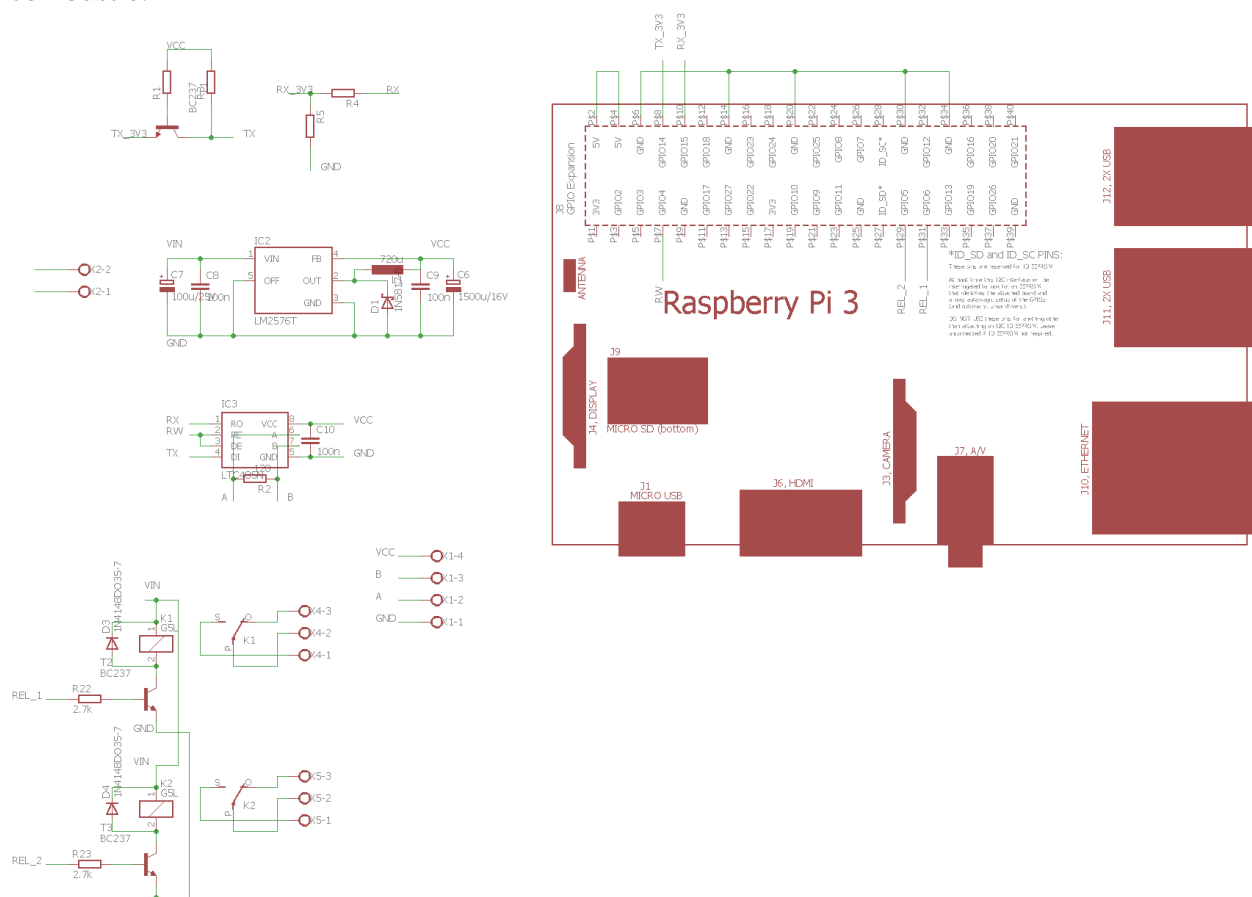


Figura 12. Modulul de conectare la internet

Pentru conectarea la internet am utilizat un Raspberry PI3, un mini-calculator care conține toate conexiunile necesare pentru accesarea internetului prin intermediul LAN sau WiFi. Am ales această variantă deoarece puterea de calcul este suficientă pentru colectarea datelor de la rețeaua de senzori dezvoltată (care numără peste 80 de componente) și pentru ușurința în interfațarea cu protocoalele standard de nivel înalt OSI, cum este HTTP. Raspberry PI3 are conectate la interfața GPIO (General Programmable Input-Output) două relee, care sunt utilizate pentru comanda diverselor dispozitive, în special pentru alimentarea cu energie electrică a rețelei de senzori, permițând astfel trecerea într-un mod de consum redus (dar fără achiziție de date), în momentul

detectării unei scăderi în producția de energie electrică estimată. Circuitul este alimentat prin intermediul unui convertor în comutație, cu eficiență de 85%, realizat cu ajutorul LM2576HV, după același principiu cu cel utilizat în convertorul de bază, cu singura diferență în realizarea inductanței, care în această situație are 100μH, bobinată pe un tor de ferită asemănător, dar utilizând conductor de cupru de 0.8mm diametru, și utilizând o diodă Schottky cu curentul direct maxim de 3A pentru a putea face față vârfurilor de curent din circuit. În timpul testelor, în funcționare normală, sistemul consumă 2.4W, în timp ce la pornire, vârful de putere măsoară 4.6W.

Interfațarea între modulele de bază și Raspberry PI3 se face prin intermediul unui transceiver MAX485 controlat prin intermediul GPIO4 (citire date / scriere date pe magistrală) și GPIO14 și GPIO15, terminalele specifice conexiunii UART. Am utilizat un convertor de nivel, între semnalele digitale de 3.3V ale Raspberry PI3 către 5V cele cu care operează MAX485. Conversia se realizează simplu, printr-un divizor rezistiv pentru semnalele de intrare (R4/R5) și printr-un amplificator cu un tranzistor conectat în conexiune cu baza comună, pentru semnalul de ieșire. În urma testelor, am observat o comportare corectă a MAX485 prin comanda directă a pinilor 2 și 3 ai circuitului folosind semnal din GPIO4. Acest lucru nu este surprinzător, având în vedere pragurile specificate în foaia de catalog a circuitului. Raspberry PI3 a fost utilizat împreună cu un sistem de operare Raspian, rulând un serviciu scris utilizând limbajul de programare Python.

Act 4.4. Demonstrarea viabilității sistemului- sera independentă energetic (Testare prototip)

În contextul informatizării și al digitizării globale, agricultura tradițională se transformă treptat în agricultură digitală. Cultivarea în sere ramane principala metodă de producție a legumelor. Deși unele sere moderne sunt în curs de dezvoltare, serele tradiționale reprezintă cea mai mare parte a celor folosite în România. Rețelele de senzori wireless sunt o tehnologie modernă care integrează cunoștințele senzorilor, controlul automatizării, transmisia rețelei digitale, stocarea informațiilor și prelucrarea informațiilor. În prezent, tehnologia rețelei de senzori wireless a fost aplicată în cea mai mare măsură monitorizării mediului. În cadrul acestui proiect am propus și realizat o arhitectură de seră pentru a realiza cultivarea cu costuri de gestionare reduse în ceea ce privește monitorizarea mediului. Conform analizei caracteristicilor mediului de seră, a fost proiectat un sistem practic de monitorizare a emisiilor de gaze cu efect de seră pe baza tehnologiei rețelei de senzori wireless urmărind parametrii cheie de mediu, cum ar fi temperatura, umiditatea și umiditatea solului s.a. Senzorii conectați la modulul universal sunt:

- DS18B20 – termometru digital, domeniul de temperatură - 55...+125°C, rezoluție 12 biți și precizie de +/-0.5°C.
- SHT15 – senzor de umiditate și temperatură cu interfață I2C, având capacitatea de măsură cuprinsă între 10 și 90% RH, cu o rezoluție de 12 biți și precizie de +/-3% RH.
- MPL3115A2 – senzor compact, pirarezistiv pentru măsurarea presiunii atmosferice absolute, cu o gamă de măsură cuprinsă între 20 și 110kPa, rezoluție 20 de biți, precizie 0.4kPa. Senzorul folosește același tip de interfață I2C.

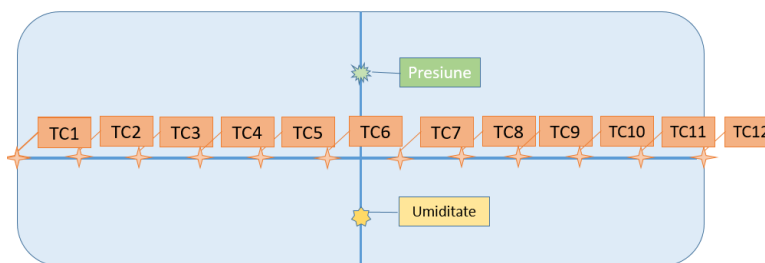


Figura 13. Reprezentare schematică a poziției senzorilor în seră.

Pentru funcționarea sistemului de colectare și transmitere date a fost dezvoltat un protocol robust pentru comunicare prin intermediul interfeței RS485. Fiecare dintre modulele de bază, conținând ATMEGA328P-PU au la dispoziție o adresă reprezentată sub forma unui întreg nenegativ, stocat în memorie pe o lungime de 16 biți. Unitatea centrală construită cu ajutorul Raspberry PI rulează versiunea standard de Raspian Linux împreună cu un serviciu, la fiecare 10 minute, prin care interoghează fiecare dintre modulele de bază, colectând informații despre acestea: starea, numărul de senzori activi și valoarea fiecăruia dintre senzori. Serviciul care se ocupă de această comunicație este scris în Python 2 și folosește pentru comunicare portul standard UART al Raspberry PI.

Senzorii sunt reprezentați în module având un identificator cu lungimea de 16 biți, urmați de blocul de date, cu lungimea de 32 de biți și un bloc suma de control de 8 biți. Fiecare modul de bază poate gestiona 16 senzori diferiți. Identificatorul cu lungimea de 16 biți este divizat astfel: biții 15 - 08 reprezintă identificatorul dispozitivului, gestionând modul în care este procesată informația (DS18B20 are indicatorul 1, CCS811 funcția ECO2 are indicatorul 2, CCS811 funcția TVOC are indicatorul 3 - vezi aiqb_serial.h), bitul 07 reprezintă capacitatea dispozitivului de a citi sau scrie informație (senzorii scriu informație, dispozitivele de control citesc), biții 06-02 reprezintă adresa internă a sensorului (un număr între 0 și 15, corespunzător poziției în coada de senzori) în timp ce biții 01-00 sunt sumă de control. Comenzile pe care placa de bază le poate trimite către modulele de bază sunt: 'L' - citește numărul de senzori, colectând și starea modulului de bază și are ca parametru adresa modului, 'R' - citește un sensor dintr-un modul de bază, având ca parametru adresa lui și adresa modului, 'W' - scrie o valoare într-un dispozitiv de control având ca parametru adresa unui senzor și adresa modului, 'D' - citește lista de senzori, tipul și adresa acestora. Comunicarea este secvențială, având două nivele de verificare a erorilor, având în vedere modul în care sunt utilizate aceste module. Culegerea datelor se face la un interval de 10 minute, acestea fiind ulterior procesate și încărcate pe serverul centrului de cercetare.

În graficele de mai jos sunt prezentate date (selecție) transmise de senzorii instalați în seră, în diferite puncte, conform diagramei din Figura 13.

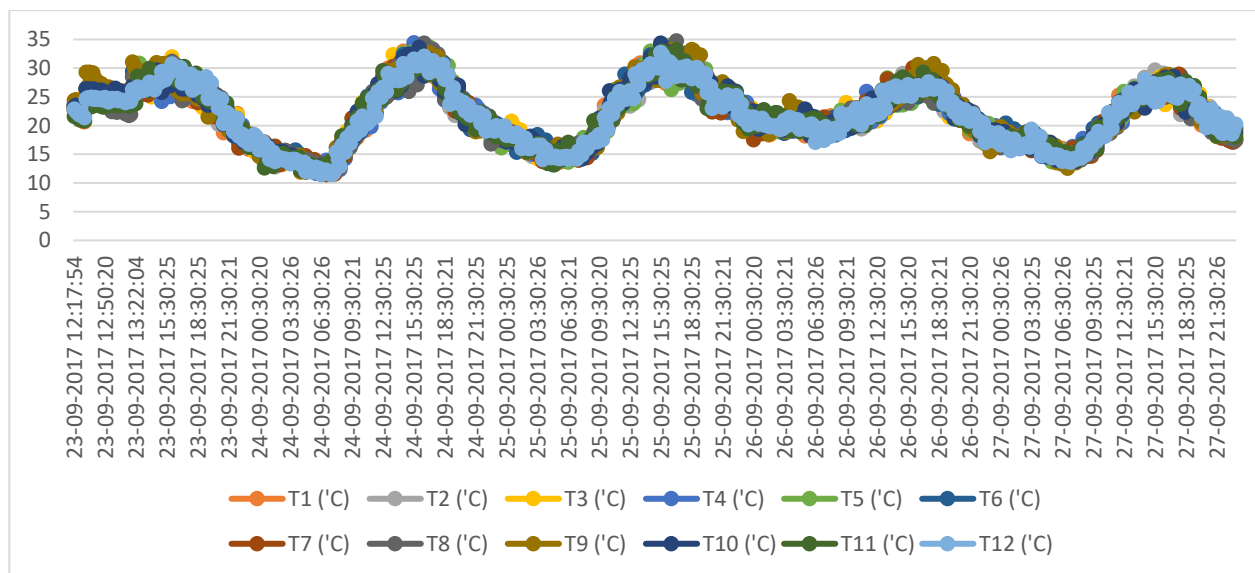


Figura 14. Monitorizare temperatura în interiorul serei pe un interval de 4 zile (23.09-27.09.2017)

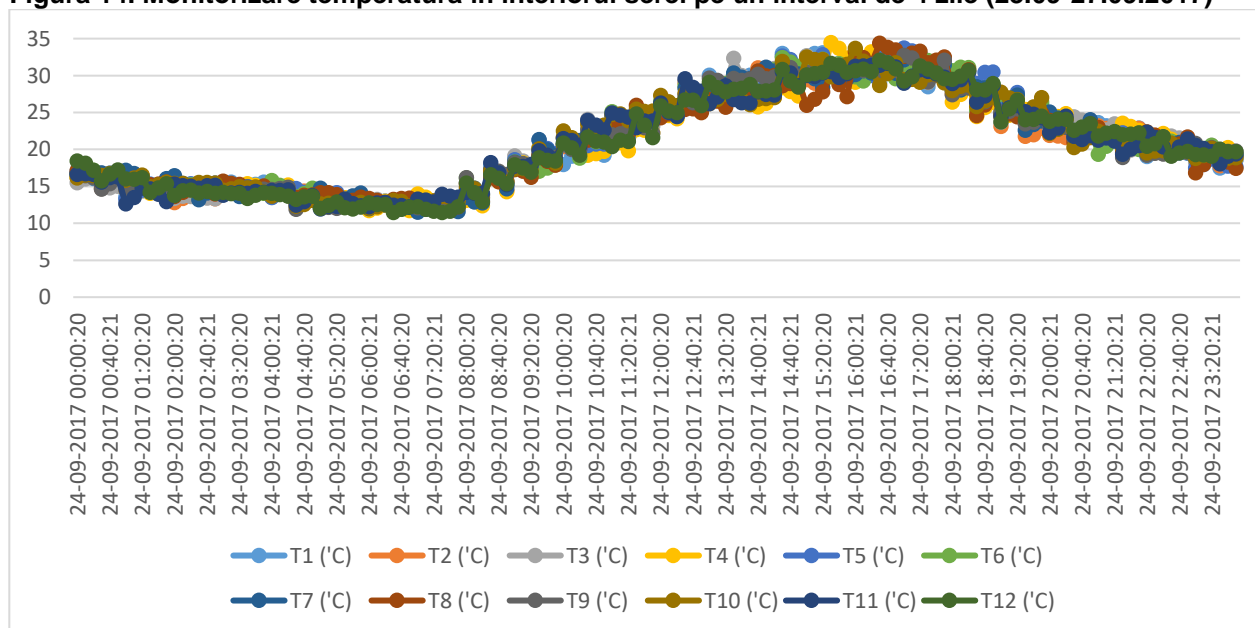


Figura 15. Monitorizare temperatură (°C) în interiorul serei pe un interval de o zi (23.09.2017)

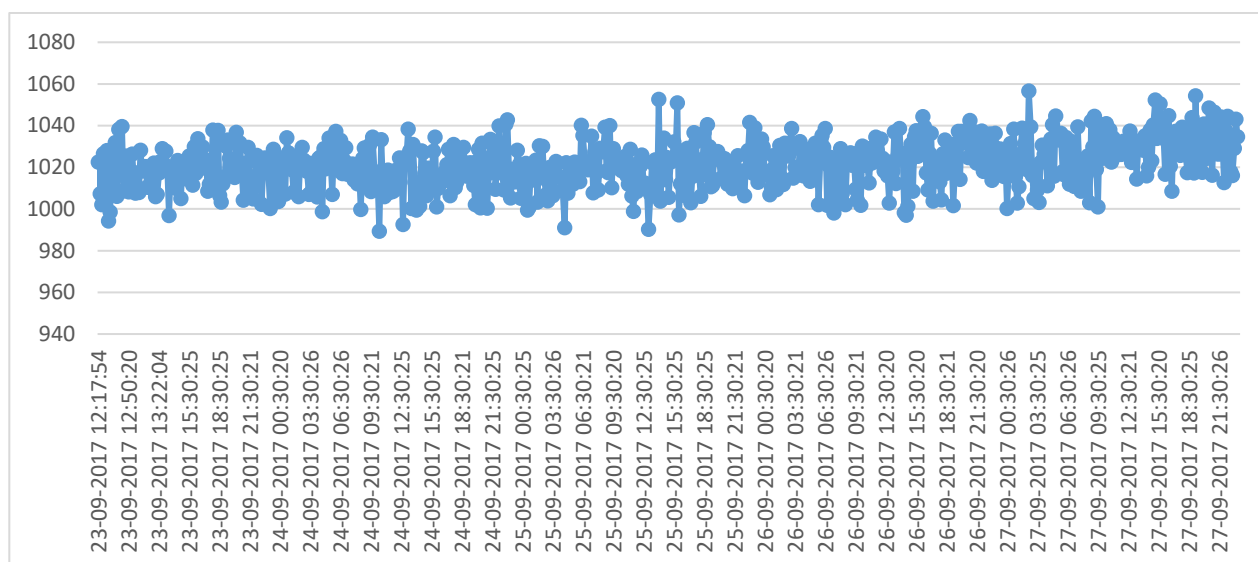


Figura 16. Monitorizare presiune (hPa) în interiorul serei pe un interval de 4 zile (23.09-27.09.2017)

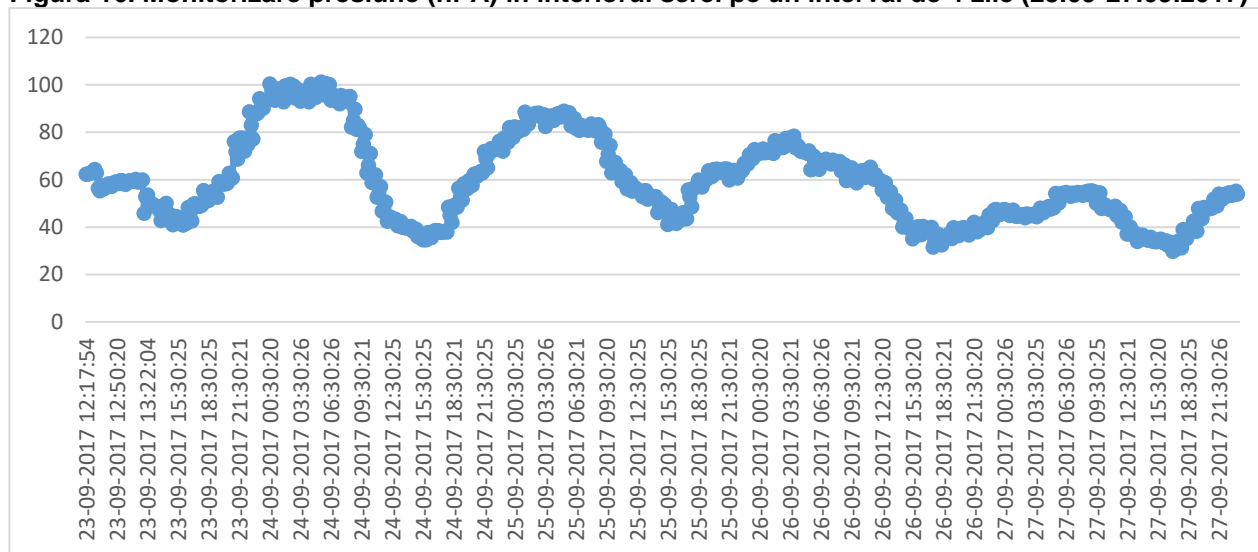


Figura 17. Monitorizare umiditate relativa (%) în interiorul serei pe un interval de 4 zile (23.09-27.09.2017)

Dezvoltat pe o platformă a rețelei de senzori fără fir dezvoltat independent, sistemul de monitorizare raportat pentru sere de legume poate fi folosit pentru a transfera tehnologia a rețelelor de senzori wireless către tehnologia de comunicații mobile în agricultura digitală. Acest tip sistem are următoarele avantaje: (1) este ieftin, scalabil și fiabil, cu o bună capacitate de procesare; (2) proiectarea de supraveghere hardware și software poate asigura că sistemul va fi online în timp real; (3) desenele multiple de interfață permit sistemului să acceseze mai mulți senzori; (4) prin utilizatorii de internet pot face întrebări despre parametrii de mediu în timp real din interiorul seriei și pot controla facilitățile din sere prin utilizarea de la distanță a SMS-urilor. Deoarece condițiile de teren se schimbă frecvent, sunt necesare îmbunătățiri ale sistemului. În special, capacitatea de a face față situațiilor anormale trebuie consolidată.

Monitorizarea condițiilor din interiorul serei este esențială în controlarea parametrilor de operare ai subsistemelor care întrețin din punct de vedere energetic, astfel încât rezultatul să fie condiții optime pentru creșterea eficienței a legumelor.

Concluzii

- În cadrul etapei IV/2017 a fost finalizată instalarea sistemelor de alimentare a serei cu o suprafață utilă de 60mp, la sediul partenerului de proiect SC E-LABORATOR FEERIA SRL, în localitatea Baleni, jud. Dambovita;
- Au fost finalizate studiile privind ansamblu membrana-electrod (MEA) (sinteza/condiționarea și caracterizarea). A fost obținută TwinIC-MEA bipolară prin presarea la cald a doua membrane Nafion- membrana schimbătoare de cationi, PPOBr- membrana schimbătoare de anioni, Pt/C- catalizator, încărcare de $0.6\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru anod, respectiv $1\text{mg}/\text{cm}^2$ pentru catod.
- TwinIC-MEA a fost testată în pila de combustie, obținându-se o densitate de putere de aprox $5\text{mW}/\text{cm}^2$, la o densitate de curent de $15\text{mA}/\text{cm}^2$.
- A fost implementat un concept tehnic și constructiv privind realizarea unei pile de combustie cu membrana bipolară schimbătoare de ioni, cu elaborarea unei teme de proiectare pentru acest model experimental.
- În cadrul acestei etape a fost conceput, realizat și instalat un sistem complex de monitorizare a parametrilor importanți în funcționarea unei sere: temperatură (50 puncte = interior cub: $3 \times 4 \times 4$, 2 senzori pentru exterior); CO_2 / presiune atm. / umiditate / intensitate luminoasă (IR, Vis, UV) (8 puncte = interior 3×2 , 2 exterior); factor de putere inverter (2 puncte = 2 consumatori); eficiența panouri solare (2 puncte = 2 arii).
- Rezultate obținute în cadrul acestei etape au fost diseminate prin publicarea a doua articole în jurnale cotate ISI, depunerea a 2 cereri de brevet și prezentarea a 3 lucrări la conferințe internaționale sub formă de poster.

ANEXE:

Anexa A: desen cod PC-FCF-00 „Ansamblu pila combustie Twin-IC”

Anexa B: desen cod PC-FCF-01 „Placa capat”

Anexa C: desen cod PC-FCF-02 „Colector curent”

Anexa D: desen cod PC-FCF-03 „Placa bipolară”

Anexa E: Fisa tehnica MEA TwinIC

Anexa F: Plansa cu imagini ale sistemelor instalate in sera la Baleni.