



Universitatea POLITEHNICA din Bucuresti

**SCOALA DOCTORALĂ DE
INGINERIE ELECTRICĂ**



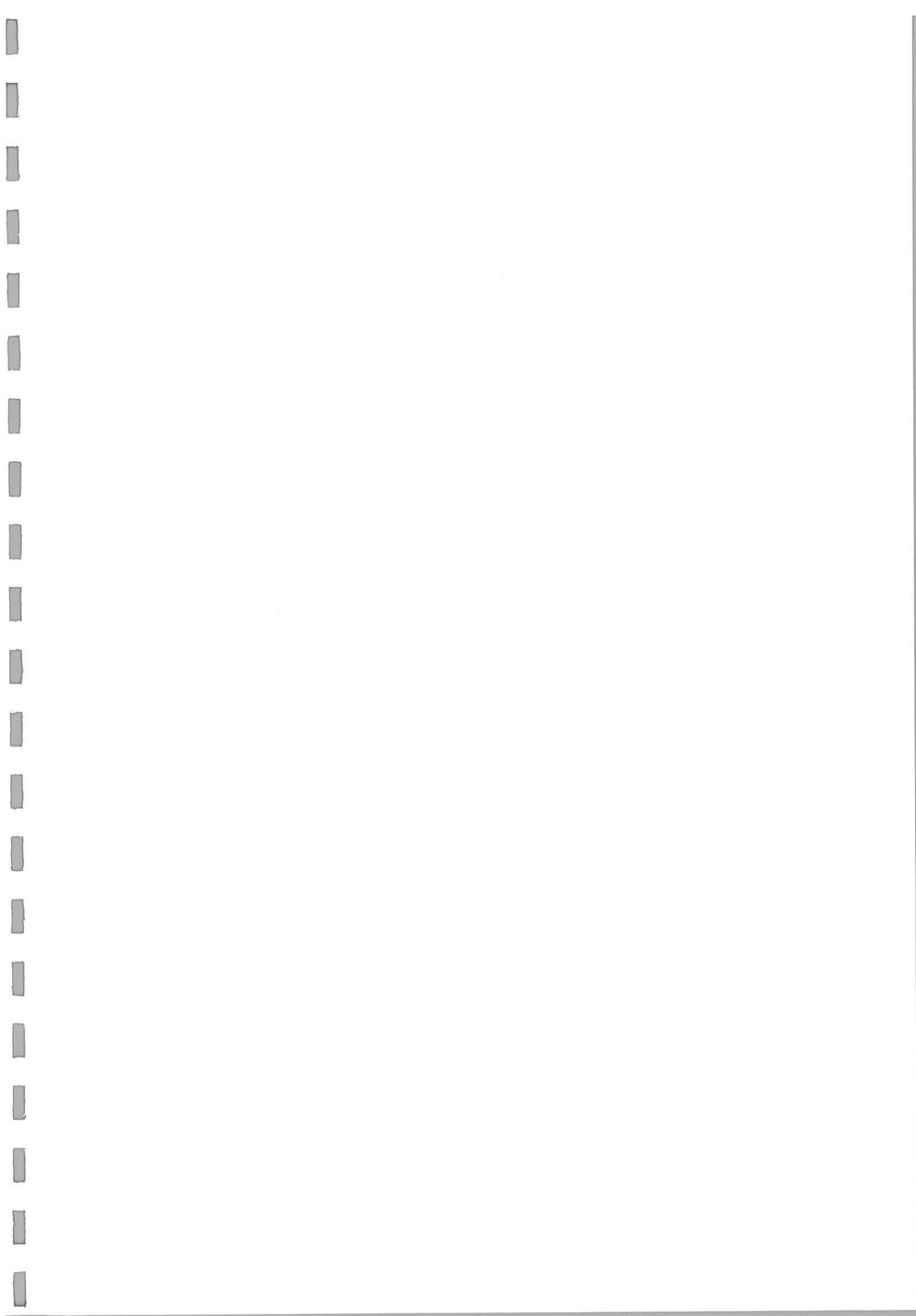
**SPORIREA EFICIENȚEI SISTEMELOR
FOTOVOLTAICE FOLOSIND REFLECTOARE PLANE
ȘI SISTEME DE RĂCIRE**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Doctorand: **Ing. Gabriel Constantin COLȚ**

Conducător științific: **Prof. Dr. Ing. Aurelian CRĂCIUNESCU**

BUCUREȘTI 2020



Cuprins

| | |
|---|----|
| Capitolul 1. Introducerea | 3 |
| Capitolul 2. Stadiul actual privind procedeele de răcire a panourilor fotovoltaice în vederea creşterii eficienței lor | 4 |
| Capitolul 3. Analiza performanțelor unui PFVT folosind Comsol și Simulink/Simscape..... | 4 |
| 3.1 Analiza performanțelor unui PFVT cu radiator dorsal de răcire cu apă cu circulație forțată folosind Comsol | 4 |
| 3.2 Analiza performanțelor unui PFVT folosind Simulink/Simscape..... | 7 |
| Capitolul 4. Instalație experimentală pentru răcirea PFVT cu apă – modelul bazin cu șicane.. | 9 |
| Capitolul 5. PFVT cu oglinzi orientate N-S răcite cu apă, sistem de răcire cu serpentină..... | 12 |
| Capitolul 6. Instalația experimentală a PFVT cu concentratoare orientate E-V, răcit cu apă, asistat de sistemul Arduino | 15 |
| Capitolul 7. Comparații între modelele experimentale utilizate | 20 |
| 7.1 Panou fotovoltaic 20Wp..... | 20 |
| 7.2 Panoul foto-voltaic-termic 300Wp | 21 |
| 7.3 Randamentul între tipurile de panourile fotovoltaice studiate | 22 |
| Concluzii | 24 |
| Contribuții originale | 25 |
| Bibliografie | 25 |

Lista abrevierilor

- PFV – panou foto-voltaic;
PFVTO – panou foto-voltaic-termic cu oglinzi
PFVT – panou foto-voltaic-termic;
PFVT - NS – panou foto-voltaic-termic cu oglinzi orientate Nord-Sud;
PFVT - EV – panou foto-voltaic-termic cu oglinzi orientate Est-Vest;
MPPT – sisteme de urmărire a punctului de putere maximă;
G – radiație solară;
Ta – temperatura atmosferică;

Capitolul 1. Introducerea

În acest capitol se prezintă actualitatea temei sistemelor fotovoltaice. Între sistemele energetice bazate pe energii regenerabile, un loc special este ocupat de sistemele fotovoltaice. Acestea asigură conversia energiei solare în energie electrică și prezintă numeroase avantaje în raport cu alte soluții concurente, tehnologia de conversie asociată fiind silențioasă, robustă, curată, cu costuri mici de producție și întreținere, respectiv cu impact ecologic redus. Sursa primară de energie, reprezentată de radiația solară este gratuită, practic inepuizabilă, fără reziduri nocive sau emisii de gaze cu efect de seră.

Pe lângă aceste avantaje, sistemele fotovoltaice sunt însotite și de anumite inconveniente specifice precum: randament scăzut, caracter fluctuant al puterii utile datorat alternanței zinoapte, respectiv iarnă-vară, suprafețe importante ocupate de modulele fotovoltaice etc.

Structura tezei

Teza este structurată pe șapte capitole principale și debutează cu un studiu bibliografic în care se prezintă stadiul actual referitor la tematica studiată. În capitolele următoare se analizează parametrii funcționali ai panourilor fotovoltaice (PFV) și fotovoltaice-termice (PFVT) prin modelare numerică, utilizând pachetele de programe de calcul Matlab-Simulink-Simscape și Comsol, urmată de realizarea, testarea, monitorizarea și analiza comparativă a performanțelor energetice a unor modele experimentale de sisteme fotovoltaice-termice de mică putere echipate cu concentratoare solare plane.

Lucrarea se încheie cu un capitol destinat concluziilor, contribuțiilor originale, perspectivelor de dezvoltare ulterioare, respectiv cu anexe și referințe bibliografice.

Obiectivele tezei

Lucrarea de față are ca obiectiv analiza diverselor soluții tehnice de îmbunătățire a eficienței energetice a sistemelor fotovoltaice prin echiparea acestora cu concentratoare solare plane (oglinzi), respectiv cu sisteme de răcire, calculele efectuate prin modelare numerică fiind urmate de realizări și validări experimentale.

Capitolul 2. Stadiul actual privind procedeele de răcire a panourilor fotovoltaice în vederea creșterii eficienței lor

Procedeele de răcire privind PFV se pot clasifica în 2 categorii după acțiunea fluidului de lucru:

- Sisteme cu răcire pasivă.
- Sisteme cu răcire activă.

În cadrul procedeului de răcire pasivă, răcirea PFV se face prin:

- Circulația aerului în mod natural fără nici un alt element ajutător;
- Circulația aerului în mod natural printr-un radiator montat pe spatele PFV;

Sistemele cu răcire activă se pot împărți după agentul de răcire folosit:

- Sistem de răcire cu apă;
- Sistem de răcire cu aer;
- Sistem de răcire cu apă și cu aer;

Capitolul 3. Analiza performanțelor unui PFVT folosind Comsol și Simulink/Simscape

3.1 Analiza performanțelor unui PFVT cu radiator dorsal de răcire cu apă cu circulație forțată folosind Comsol

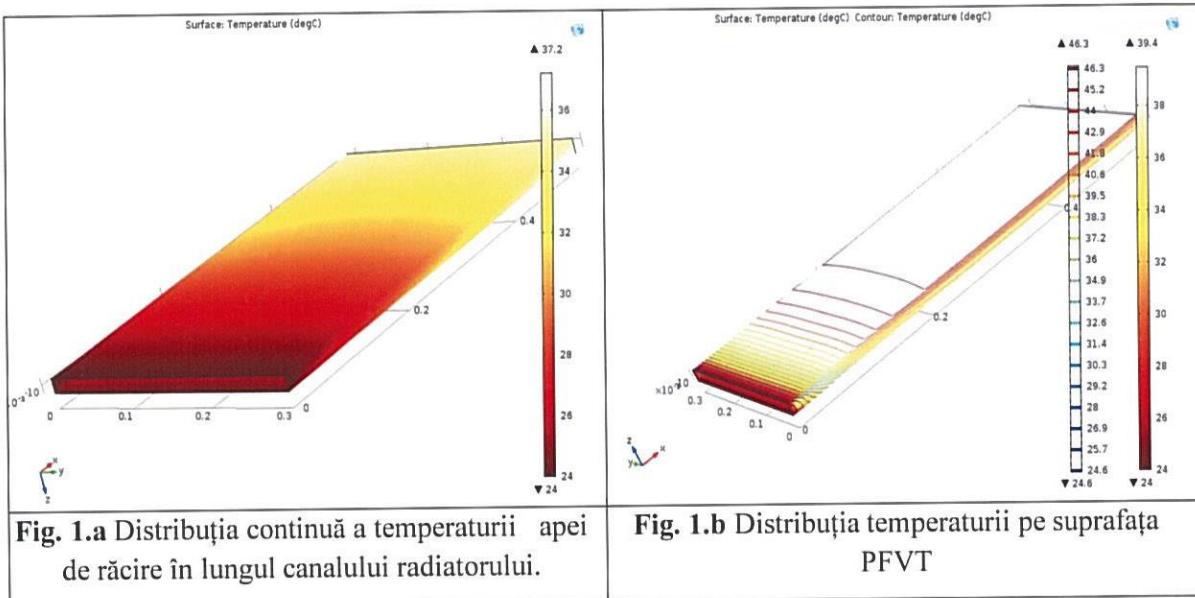
În acest capitol se analizează performanțele energetice ale unui PFVT cu radiator dorsal de răcire cu apă cu circulație forțată. Radiatorul considerat este de tip canal. Analiza se face folosind programul de simulare COMSOL.

Modelul fizic al PFVT cu radiator de răcire este compus din: PFV, radiator de răcire, strat adeziv termoconductor, mufe de conectare cu circuitul de răcire forțată. Obiectivul PFV cu bazin atașat sub celula fotovoltaică are funcția de a elimina cât mai mult posibil căldură, pentru a spori eficiența.

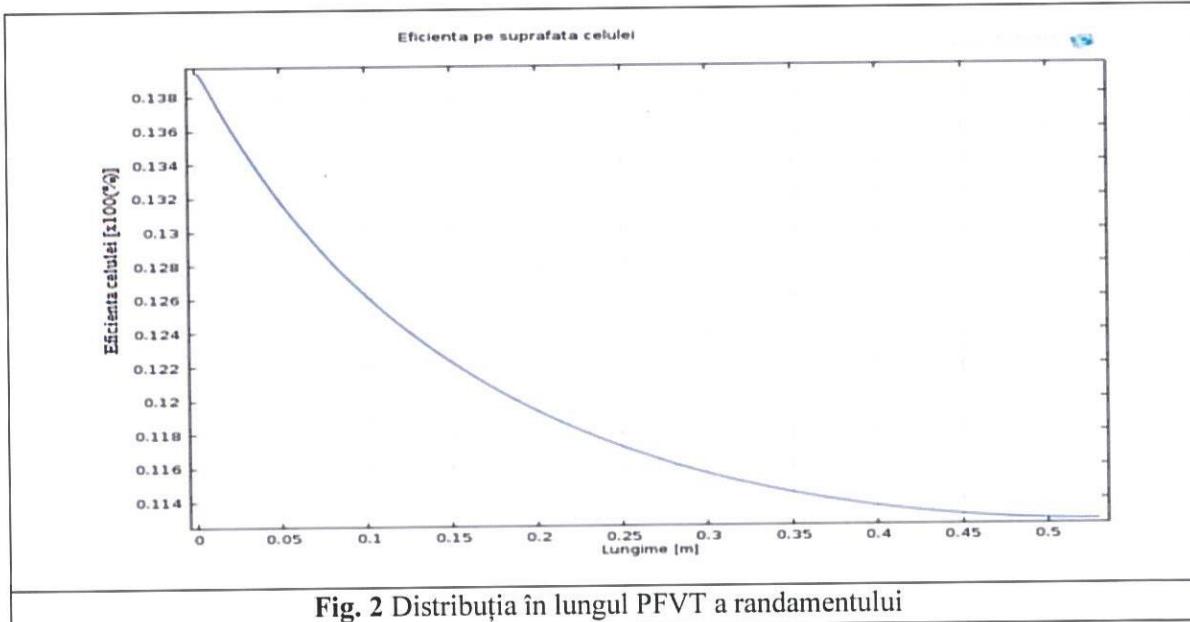
Rezultate numerice

În Fig. 1.a se prezintă distribuția continuă și, respectiv, distribuția discretă a temperaturii apei de răcire în lungul canalului radiatorului. Se constată o diferență de 13°C dintre temperatura apei la intrarea în radiator (24°C) și temperatura apei la ieșirea din radiator (37°C).

În Fig. 1.b se prezintă distribuția temperaturii pe suprafața PFVT astfel că acesta variază între 46°C pe partea frontală de sus și 24°C pe partea de jos la intrarea apei în bazin.



În Fig. 2 se prezintă distribuția, în lungul PFVT, a randamentului cu care celulele fotovoltaice realizează conversia energiei solare incidente în energie electrică, distribuție determinată de variația în lungul PFVT a temperaturii apei de răcire a celulelor. Se constată că acest randament de conversie scade o dată cu creșterea temperaturii apei de răcire de-a lungul canalului de curgere, și deci, a temperaturii celulelor fotovoltaice răcite de aceasta.



În Fig. 3.a se prezintă distribuția temperaturii pe suprafața PFVT pe lungimea acestuia, pentru trei temperaturi ale mediului ambiant: 20°C , 30°C și 40°C , în condițiile unei iradianțe solare de 1000 W/m^2 și a unui debit al apei de răcire de 5l/min .

În Fig. 3.b se prezintă distribuția temperaturii pe suprafața PFVT pe lungimea acestuia, pentru trei valori ale iradianței solare: 600 W/m^2 , 800 W/m^2 și 1000 W/m^2 , în condițiile unei temperaturi a mediului ambiant de 30°C și a unui debit al apei de răcire de 5l/min .

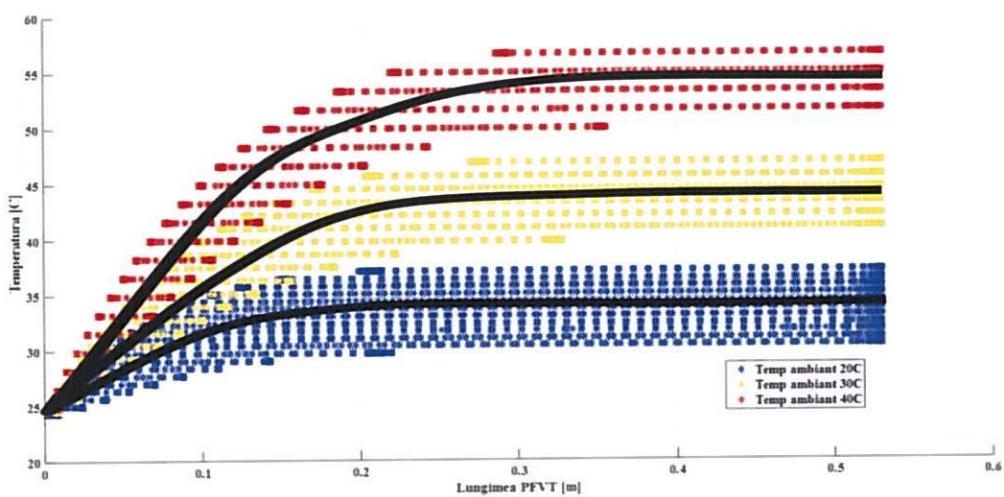


Fig. 3.a Distribuția temp. pe suprafața PFVT, funcție de radiație

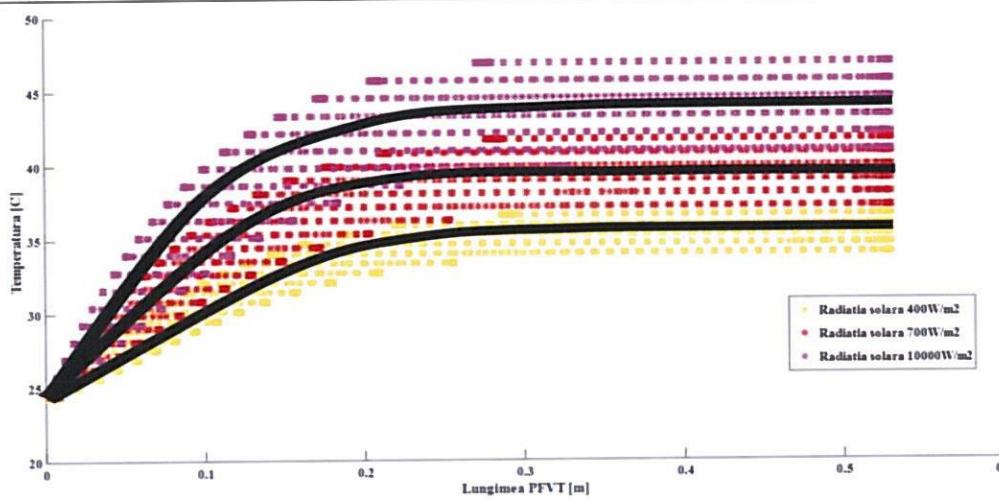


Fig. 3.b Distribuția temp. pe suprafața PFVT, funcție de temperatură

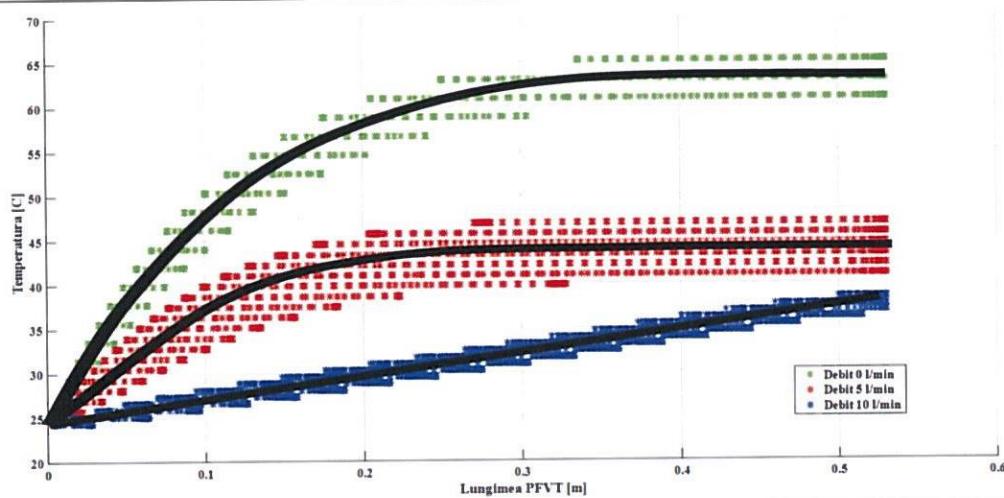


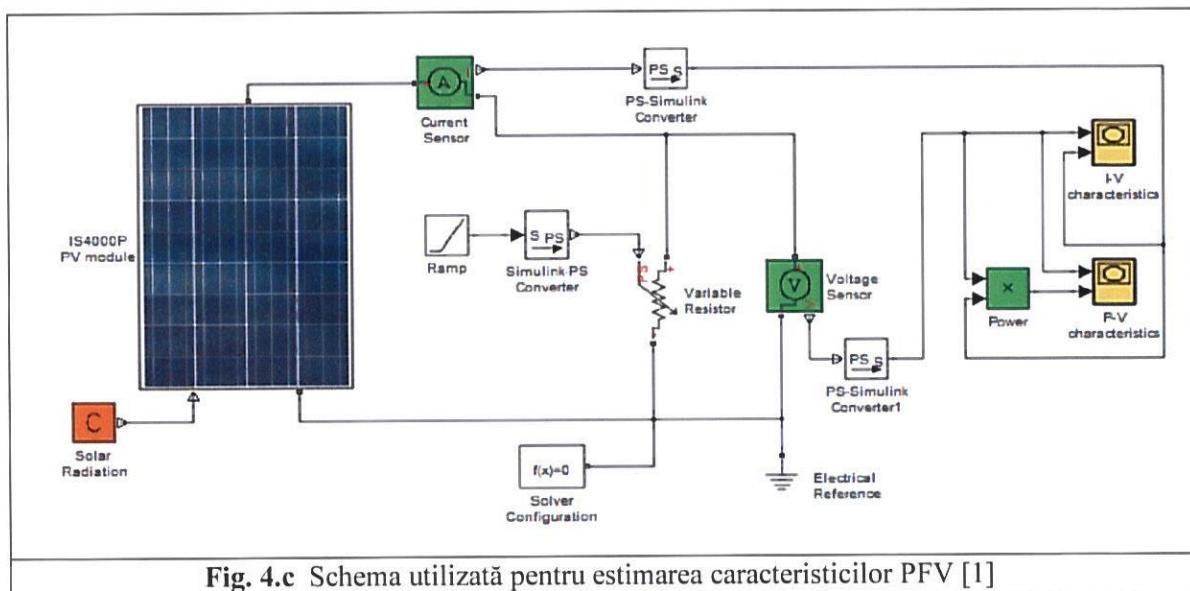
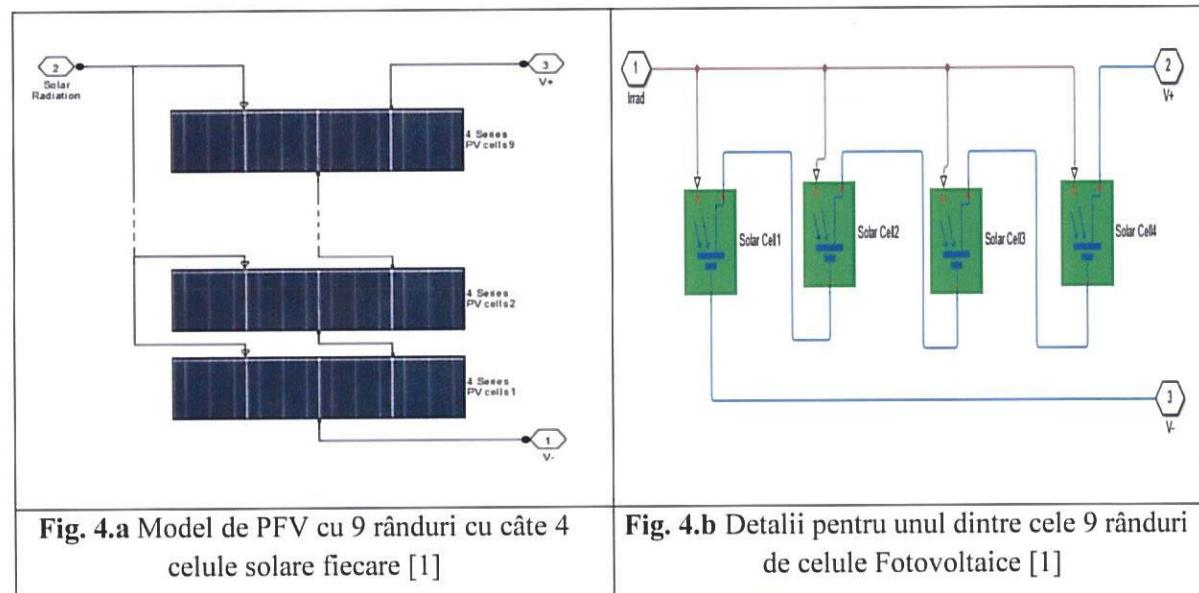
Fig. 3.c Distribuția temp. pe suprafața PFVT, funcție de debit

În Fig. 3.c se prezintă distribuția temperaturii pe suprafața PFVT pe lungimea acestuia, pentru trei valori ale debitului apei de răcire: 0 l/min, 5 l/min și 10 l/min, în condițiile unei temperaturi a mediului ambiant de 30°C și a unei iradianțe solare de 1000 W/m^2 .

3.2 Analiza performanțelor unui PFVT folosind Simulink/Simscape

Modelul numeric al unui PFV existent poate fi construit ca o structură de serie a blocurilor de celule solare. Modelul fizic pentru simulările numerice prezentate în această lucrare este cel al modulului fotovoltaic IS4000, care este compus din 36 de celule policristaline conectate în serie.

Modelul numeric al acestui panou matricial 4×9 bazat pe blocurile Simscape „Solar Cell” este prezentat în Fig. 4.a [1]. Fiecare dintre cele nouă rânduri conține patru celule solare conectate în serie, Fig. 4.b.



Rezultate experimentale

În Fig. 5.a se prezintă distribuția temperaturii de-a lungul lungimii PFVT. Această încălzire neuniformă afectează eficiența PFVT, după cum se poate observa în fig. 5.b.

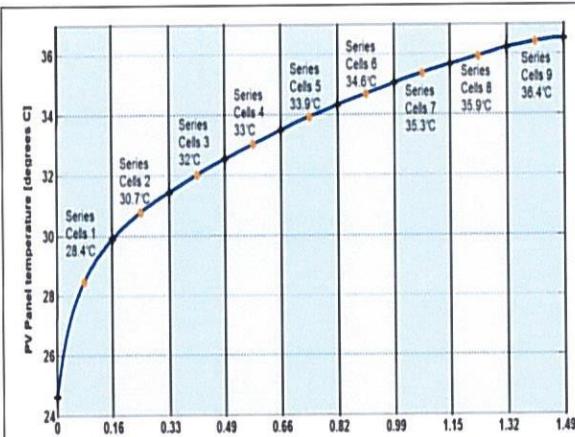


Fig. 5.a. Distribuția temperaturii pentru fiecare din cele nouă „Celule Serie” [1]

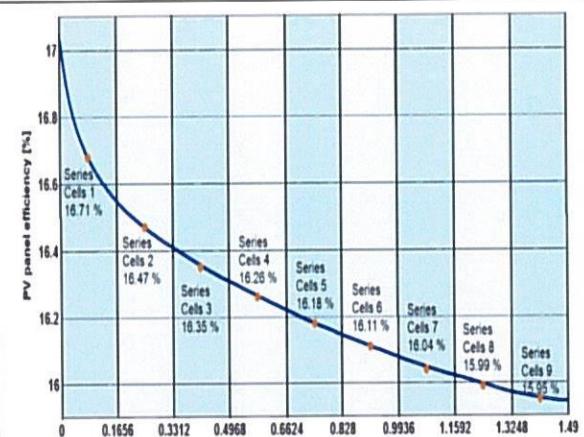


Fig. 5.b Distribuția eficienței pentru fiecare din cele nouă „Celule Serie” [1]

Caracteristicile experimentale ale PFVT prezentate în fig. 6.a și 6.b au fost obținute în laborator folosind simulatorul solar. Radiația artificială are o intensitate mai mică, deci curentul de scurtcircuit și puterea maximă sunt considerabil mai mici decât valorile obținute în condiții reale de radiații solare.

Rezultatele numerice obținute pe baza distribuției de temperatură prezentate în Fig. 5.a sunt prezentate în Fig. 6c și 6d. Formele curbei sunt destul de similare, curentul de scurtcircuit este aproape același, iar puterea maximă este mai mică în simulare decât în experiment (40,5 W vs. 47,5 W). Această diferență scade dacă folosim un model cu parametri variabili pentru celulele solare de-a lungul PFV (42 W vs. 47,5 W) [1].

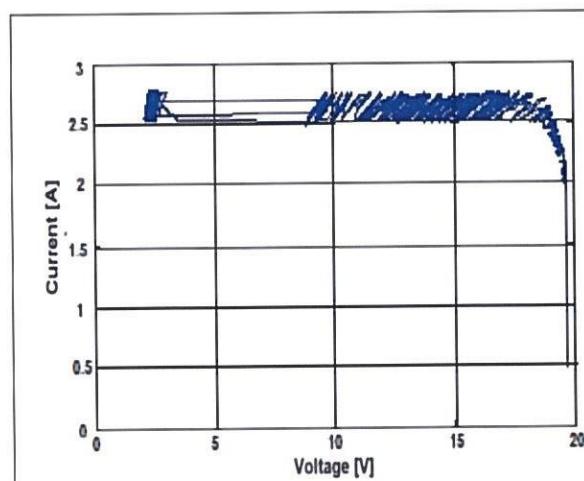


Fig. 6.a Familia de caracteristici I-V ale PFV - rezultate experimentale [1]

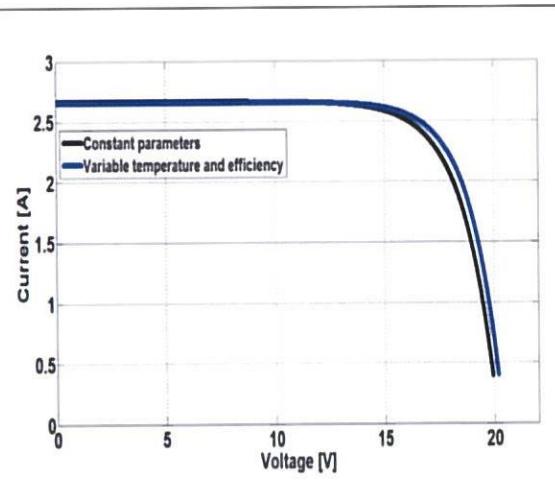


Fig. 6.b Familia de caracteristici I-V ale PFV - rezultate ale simulării [1]

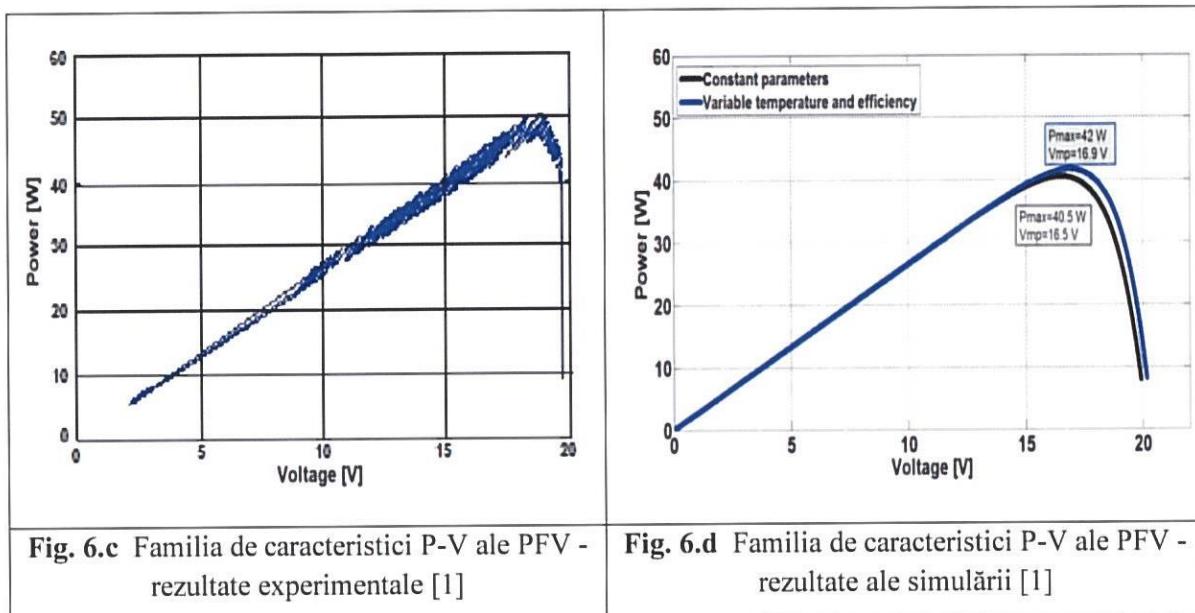


Fig. 6.c Familia de caracteristici P-V ale PFV - rezultate experimentale [1]

Fig. 6.d Familia de caracteristici P-V ale PFV - rezultate ale simulării [1]

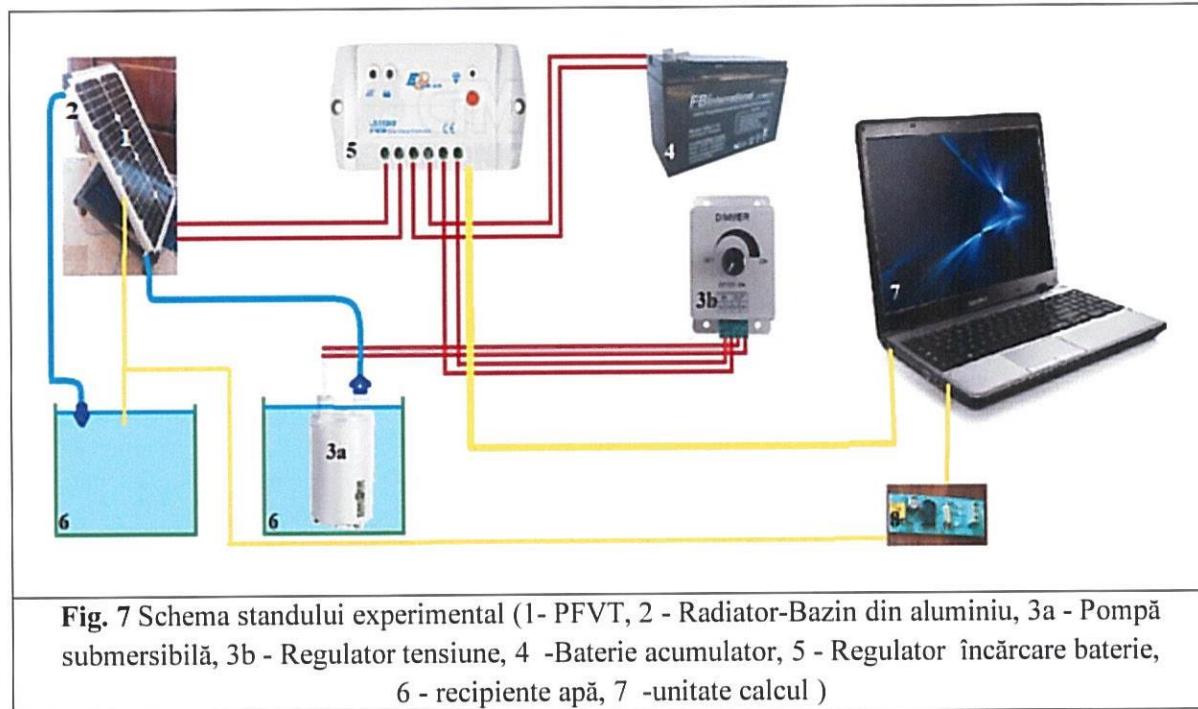
Capitolul 4. Instalație experimentală pentru răcirea PFVT cu apă – modelul bazin cu șicane

Modul de funcționarea a modelului experimental – PFVT răcit cu apă cu ajutorul unui radiator-bazin cu șicane.

PFVT expus la soare captează radiația solară pe care o transformă în energie electrică și este debitată pe baterie cu ajutorul regulatorului de încărcare. Datorită expunerii la soare a PFVT, acesta se încălzește, căldura va fi preluată pe spatele PFVT de către un radiator-bazin cu apă, alimentarea radiatorului-bazin se realizează cu ajutorul unei pompe care este alimentată periodic prin regulatorul de încărcare. Regulatorul de încărcare poate programa pe bornele de ieșire consumator, să închidă sau să deschidă alimentarea cu tensiune pe o anumită perioadă de timp. Pentru reglajul debitului pompei s-a folosit un dimmer de tensiune. Senzorii de temperatură vor colecta date de pe suprafața expusă la soare a PFVT și temperatura apei la ieșire din bazin. Sistemul de răcire realizat, este alcătuit din următoarele:

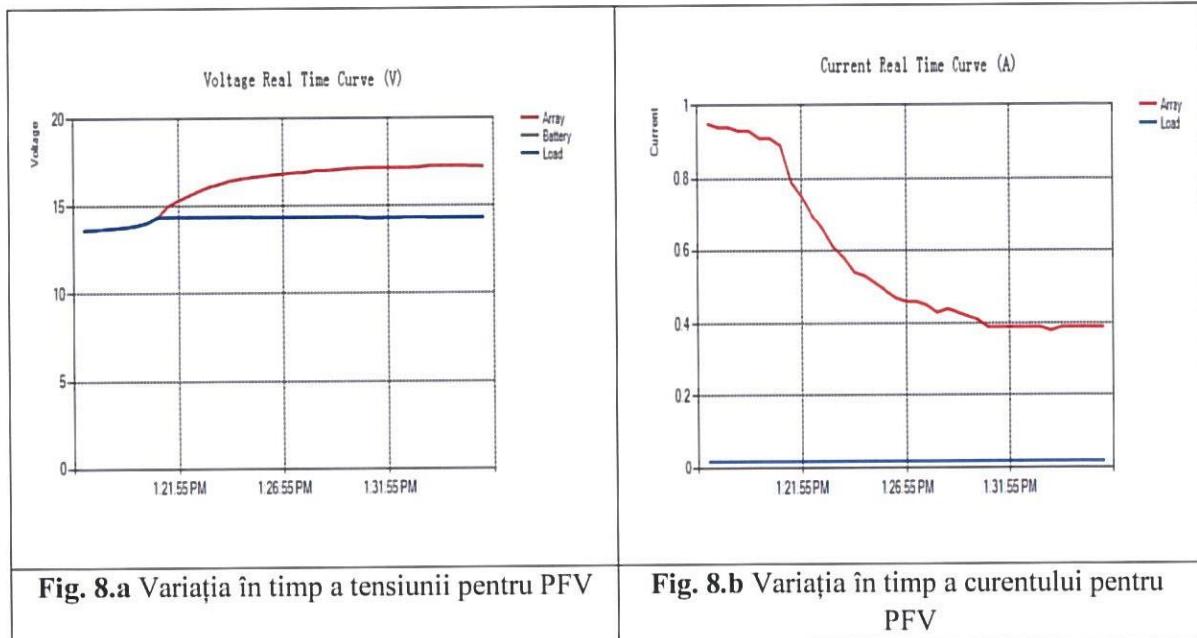
- PFV tip YSP-20M
- Radiator-bazin pentru apă din aluminiu cu structură tip fagure are următoarele dimensiuni:
 $D_b = 500 \times 270 \times 10 \text{ mm}$ cu grosime perete bazin $G_{bp} = 1\text{mm}$
- Pompa submersibilă (12 V_{cc})
- Baterie acumulator 12V 7Ah
- Regulator de încărcare baterie EPsolar LS2024B
- două recipiente pentru apă
- Soft colectare date “Solar Station Monitor”

- Senzor temperatură pentru PC



Rezultate experimentale.

Primul set de măsurători s-a efectuat pe un PFV, fără sistem de răcire, pe data de 13.06.2015 între orele 13:16 - 13:36, valorile radiației solare cuprinse între $874 - 905 \text{ W/m}^2$, temperatura mediului ambiant între $34,5 - 35,2^\circ\text{C}$, iar temperatura modulului PFV în intervalul $46,8 - 58,7^\circ\text{C}$.



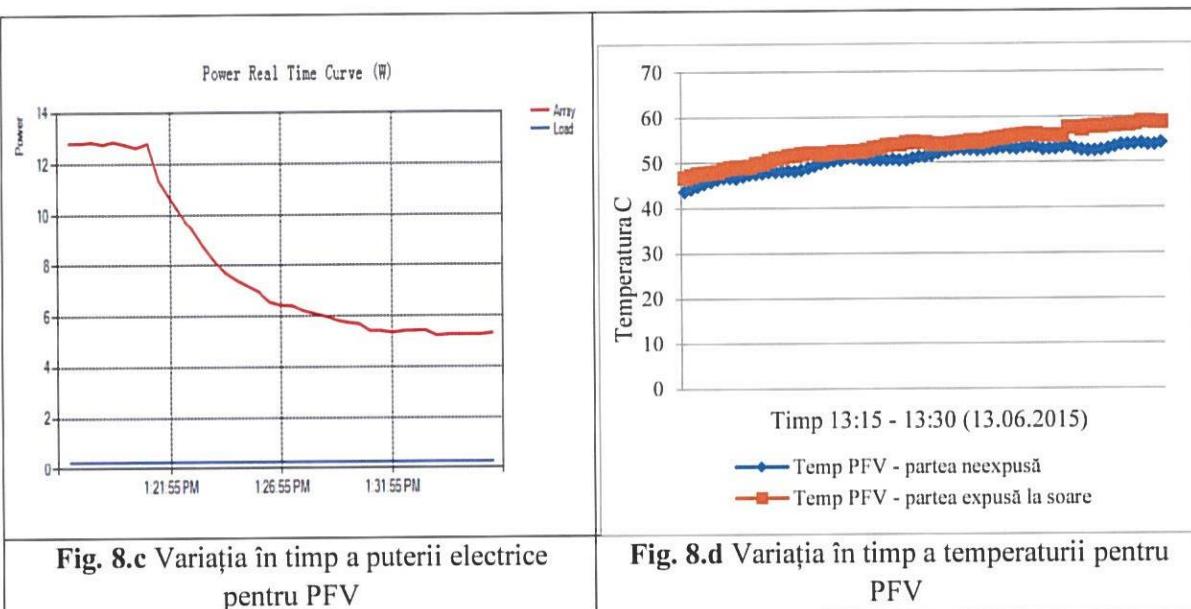


Fig. 8.c Variația în timp a puterii electrice pentru PFV

Fig. 8.d Variația în timp a temperaturii pentru PFV

Al doilea set de măsurători a fost efectuat pe un PFV echipat cu sistem de răcire, înregistrările fiind efectuate pe data de 14.06.2015 între orele 14:11-14:38; în intervalul considerat valorile radiației solare sunt cuprinse între 852 și 705 W/m², temperatura mediului ambiant variază între 36,9 și 37,2°C, temperatura modulului PFVT pe partea superioară variază în intervalul 52,1 - 45,4°C, iar temperatura modulului PFVT pe partea inferioară (bazin răcire) este cuprinsă în intervalul 50,2 - 33,7°C. PFV echipat cu sistem de răcire a fost lăsat să se încălzească până la stabilizarea curentului furnizat, după care s-a pompat apă în radiatorul-bazin. Se poate observa că odată cu pornirea a pompei pentru a răci PFVT, puterea furnizată de panou crește și începe să scadă când pompa este oprită. Dacă odată cu pornirea pompei, temperatura pe partea inferioară scade foarte mult apropiindu-se de temperatura apei la ieșire, temperatura pe partea superioară expusă la soare scade doar foarte puțin, datorită expunerii directe la soare.

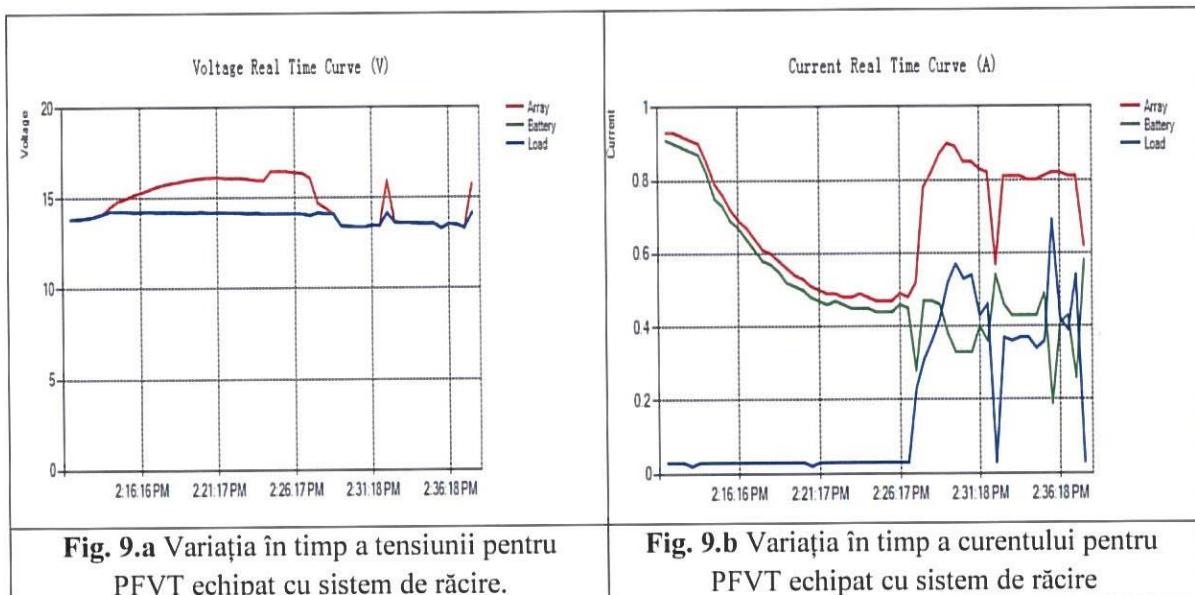
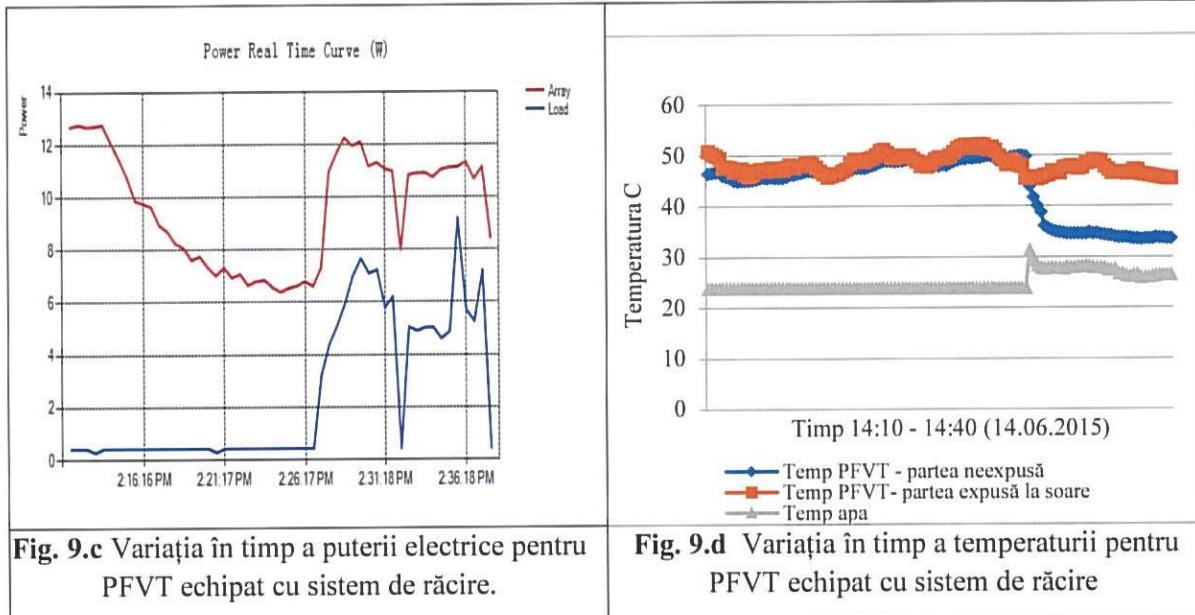


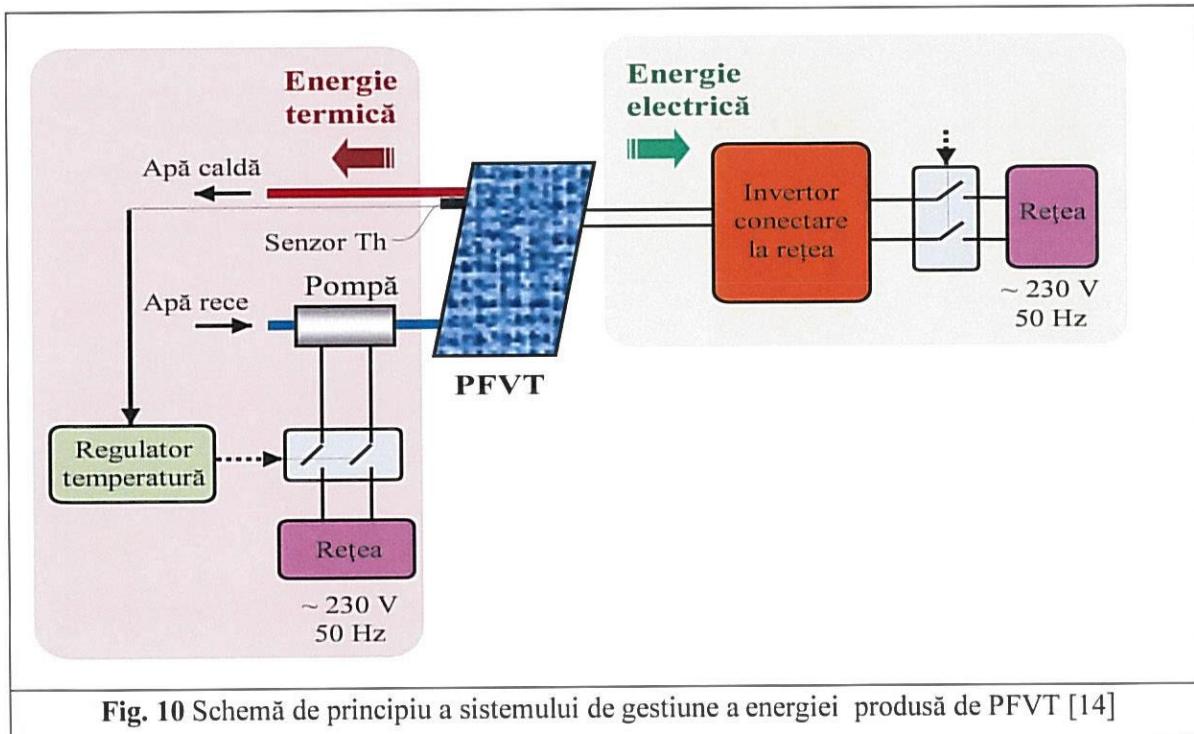
Fig. 9.a Variația în timp a tensiunii pentru PFVT echipat cu sistem de răcire.

Fig. 9.b Variația în timp a curentului pentru PFVT echipat cu sistem de răcire



Capitolul 5. PFVT cu oglinzi orientate N-S răcite cu apă, sistem de răcire cu serpentină

PFVT este destinat conversiei energiei solare de asemenea în energie electrică și în căldură, cu un randament global net superior PTFV clasice. Performanțele PFVT sunt îmbunătățite prin adăugarea unor oglinzi, dimensionate și orientate adecvat, capabile să contribuie la creșterea iradianței solară pe suprafața PFVT [14].



Modul de functionare al PFVT:

Panoul PFVT va primi energie de la soare direct și prin reflecția oglinzilor fiind transformată în energie electrică și termică fig.10. Energia electrică produsă de PFVT va fi debitată de invertor către retea, invertorul transformând tensiunea continuă în tensiune alternativă. Energia termică va fi preluată printr-un sistem de conducte lipite pe spatele PFVT prin care circulă agent de răcire (în cazul nostru apă distilată). Pompa va asigura circulația agentului de răcire fiind comandată printr-un contactor de către regulatorul de temperatură care în funcție de pragul setat minim și maxim va închide sau va deschide contactorul.

Gestiunea energiei electrice a PFVT. Pentru conectarea PFVT la rețea este necesară prezența unui invertor de sincronizare cu rețeaua care să convertească energia de curent continuu produsă de panou în energie de curent alternativ cu parametrii (tensiune, frecvență) compatibilizați cu cei ai rețelei[14].

Gestiunea energiei termice a PFVT. Energia termică produsă de PFVT este gestionată prin intermediul unui controler specializat care monitorizează temperatura fluidului de lucru la ieșirea din circuitul termic al PFVT și care în funcție de valoarea acesteia dă comandă de pornire sau oprire a unei pompe ce injectează agent termic, în stare rece, în circuitul termic al PFV. Dacă temperatura agentului termic depășește un *prag superior impus* se alimentează pompa care injectează agentul termic în circuit în stare rece, apă caldă fiind evacuată din circuit. Când temperatura apei la ieșire scade sub un *prag inferior impus* alimentarea pompei este deconectată. Timpii de funcționare ai pompei, respectiv debitul mediu al agentului termic depind practic de temperatura fluidului de lucru [14].



Fig. 11 Modelul experimental al PFVT echipat cu elemente de concentrare a energiei solare

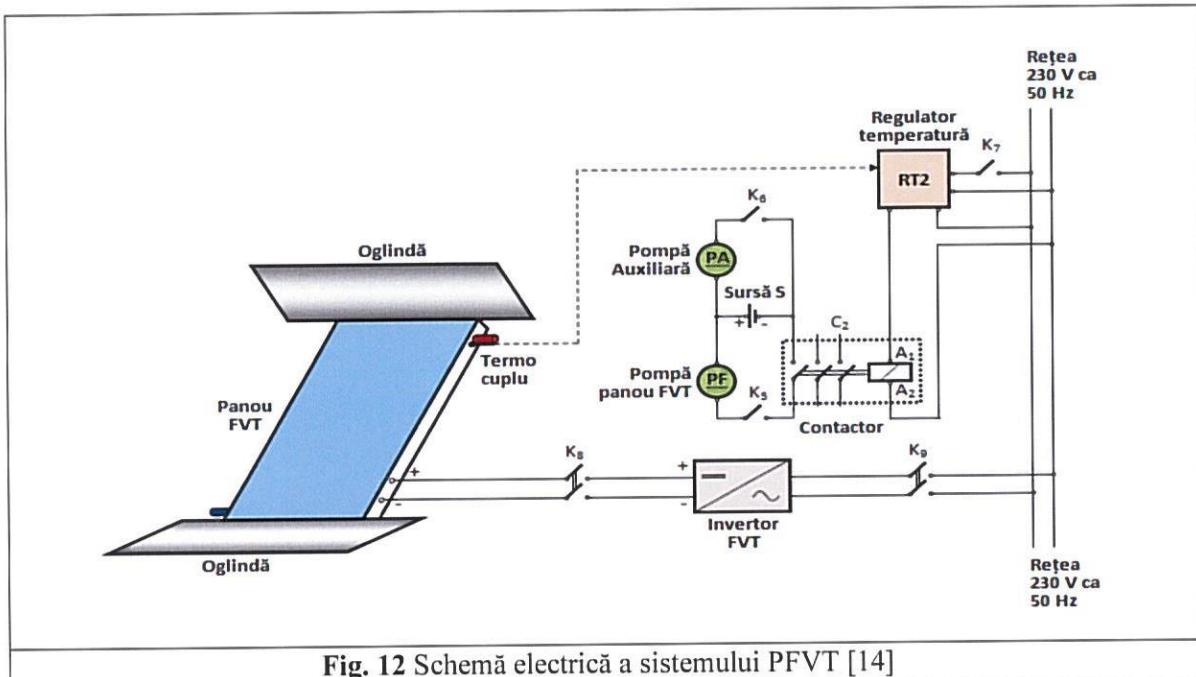


Fig. 12 Schemă electrică a sistemului PFVT [14]

Componente sistemul foto-voltaic termic

Acest sistem este format din:

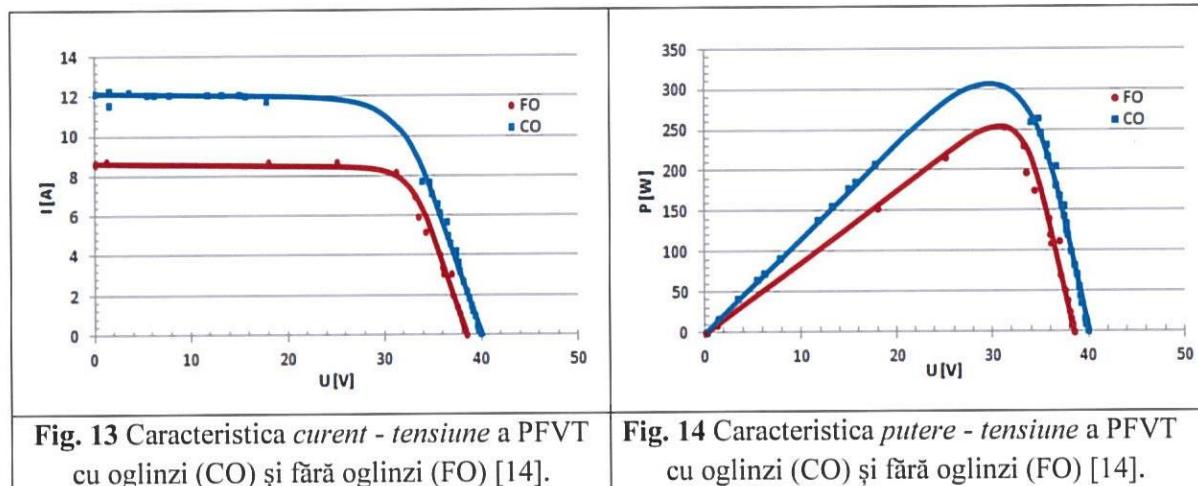
- PFVT 300 W
- Invertor conectare PFVT
- Regulator de temperatură
- Aparatură comandă, protecție și comutație
- Sursă tensiune 12 V pentru alimentare pompe submersibile
- Pompă submersibilă
- Contor de energie termică

Rezultate experimentale

În Fig. 13 și 14 se prezintă caracteristicile *curent - tensiune*, respectiv *putere - tensiune* ale PFVT echipat cu oglinzi (2 oglinzi, fiecare de câte $1,32 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$), în comparație cu graficele obținute pentru PFVT fără oglinzi. Se observă că în condiții meteo similare, puterea electrică furnizată de panoul echipat cu oglinzi este superioară în raport cu cea generată de un PFV normal. Pentru aceste măsurători nu s-a alimentat sistemul de răcire al PFVT solar. Aportul suplimentar de putere al oglinzilor în punctul optim de funcționare este de circa 20 %[14].

Măsurările au fost făcute în cadrul Programului PNIII – BRIDGE GRANT 68BG/2016, Titlul Proiectului *Sistem electrotehnic bazat pe conversia energiilor solară și eoliană*. Trebuie menționat faptul că măsurările au fost efectuate în luna martie, pentru o anumită poziție a PFVT și a oglinzilor în raport cu poziția Soarelui, respectiv pentru anumite condiții meteo (temperatura atmosferică $T_a \approx 17^\circ\text{C}$, iradianță solară $G \approx 920 \text{ W/m}^2$). Dacă măsurările se

repetă în alte condiții meteo sau pentru alte poziții relative panou - Soare, rezultate ar putea fi diferite.



Capitolul 6. Instalația experimentală a PFVT cu concentratoare orientate E-V, răcit cu apă, asistat de sistemul Arduino

Sistemul experimental realizat în această etapa este compus dintr-un PFV dotat cu un sistem de răcire, echipat cu concentratoare (oglinzi) orientate E-V. Pentru achiziția de date și automatizarea sistemului de răcire s-a folosit platforma Arduino. Acest sistem are un randament mult mai bun față de PFV clasice datorită sistemului de răcire care menține o temperatură mult mai aproape de temperatura optimă de funcționare dar și o radiație mult mai mare ce îmbunătățește semnificativ randamentul datorită reflexiei radiației din oglinzi [8].

Modul de functionare a sistemului

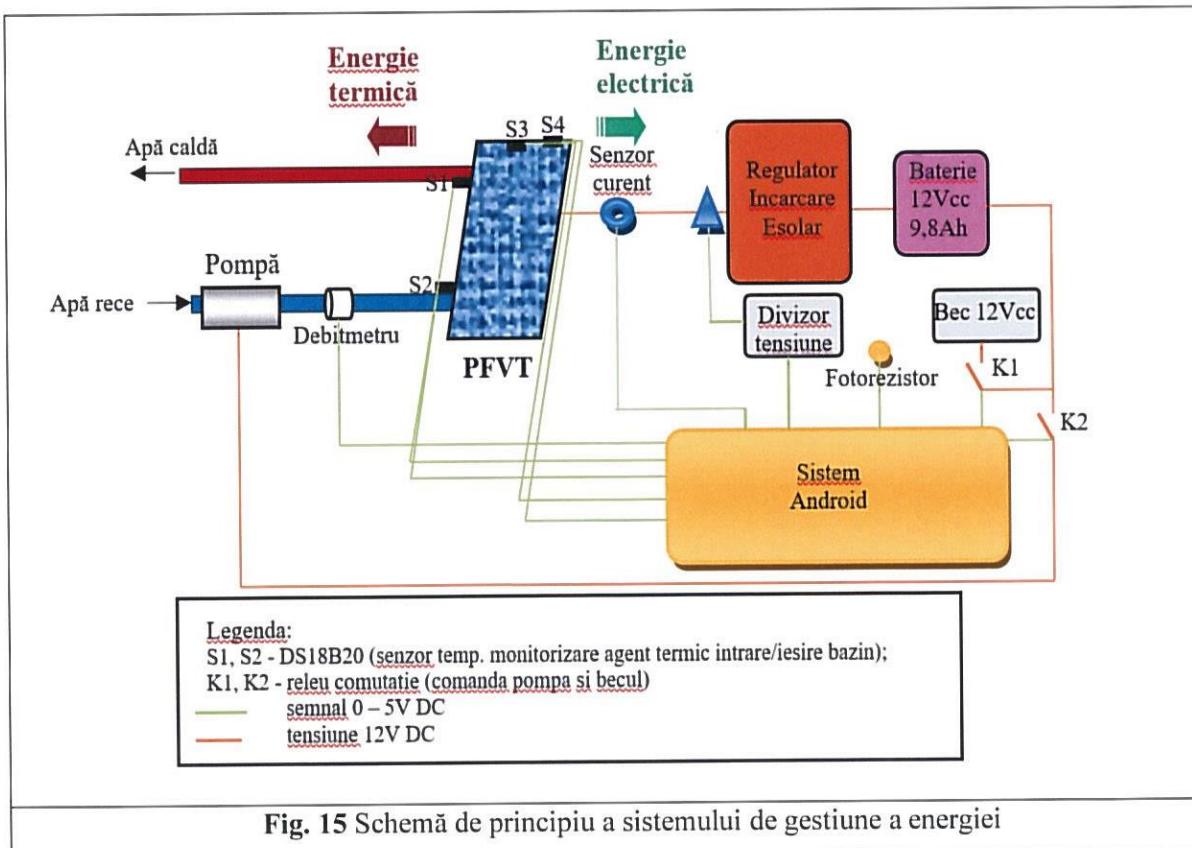
Datorită energiei solare primite direct sau prin intermediul oglinzilor PFV va transforma în energie electrică dar și termică. Energia electrică va fi debitată pe o baterie prin intermediul regulatorului de încărcare. Întrucât regulatorul de încărcare va modifica parametri tensiune și curent, măsurările acestora se va efectua înainte de intrarea în regulator cu ajutorul senzorilor Arduino (divizor de tensiune și senzor curent). Prin reflecția oglinzilor vom mări considerabil radiația solară primită de panou dar în același timp temperatura pe panou va crește. Energia termică va fi preluată de către un agent de răcire (în cazul de fată, apă) ce va circula pe bazinul fagure montat pe spatele PFV. Pompa submersibilă va asigura circulația agentului de răcire fiind comandată prin un contactor de către softul Arduino în urma datelor primite de la senzorul de temperatură DS18B20 de la ieșirea din bazin, fiind setați un prag de minim și maxim [8].

Ceilelalte senzori vor ajuta la monitorizarea temperaturii la intrarea în bazin, pe partea superioară și inferioară a PFVT, iar fotorezistorul va trimite semnal către Arduino pentru conectarea consumatorului pe timp de noapte.

Componentele modelului experimental

1. Componentele Arduino;

- Soft-ul Arduino;
- Placa de dezvoltare;
- Senzor de temperatură DS18B20;
- Senzor de temperatură PT100;
- Modul amplificator MAX31865;
- Shield-ul Card microSD;
- Fotorezistor;
- Baterie auxiliară 5V pentru alimentare modul Arduino;
- Divizor tensiune 24V/5V DC;
- Modul Senzor de Curent;
- Debitmetru YF-S201 (1 - 30 l / min);
- Relee pentru alimentare pompa respectiv consumator 12V;



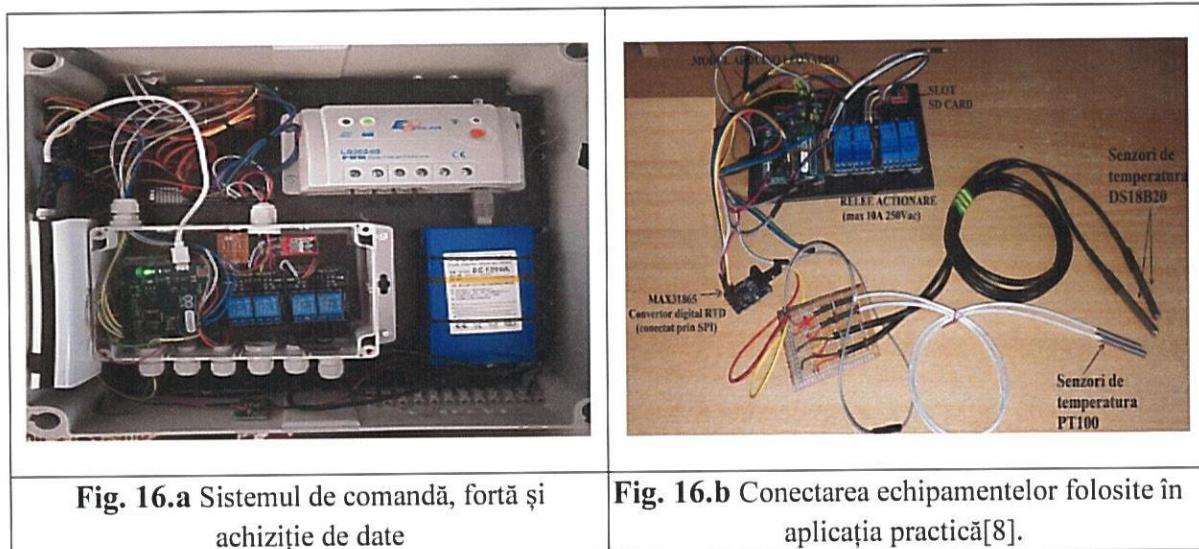


Fig. 16.a Sistemul de comandă, forță și achiziție de date

Fig. 16.b Conectarea echipamentelor folosite în aplicația practică[8].

2. Panou Foto-Voltaic-Termic (PFVT)

- PFV 20W- tip YSP-20M (tabel 1) echipat cu 2 oglinzi (530mm*300mm/buc);
- Rezervor inox pentru apă lipit pe spatele PFV despărțit de acesta de o pastă termoconductoare. Dimensiuni rezervor $D_b = 500*270*17$ mm cu grosime de 1mm;
- Pompa submersibilă (12 V_{cc});
- Baterie Lithium-ion 12V 9, 8Ah;
- Regulator Încărcare Baterie EPsolar LS2024B;
- 2 vase pentru apă;



Fig. 17 PFVT cu oglinzi [8]

Rezultate experimentale

Următoarele rezultate prezentate în fig. 18 – 19 sunt obținute prin măsuratori efectuate cu ajutorul sistemului Arduino. Parametri care influențează randamentul PFV:

- temperatura mediului ambiant în momentul măsuratorilor $28\text{--}31^{\circ}\text{C}$;
- radiația solară $705\text{--}922\text{W/m}^2$;

Am dotat PFV cu un bazin cu apă pe post de radiator răcind fortat PFV cu ajutorul unei pompe care va primi comanda ca în momentul când temperatura din partea superioară va depăși un prag maxim (40°C) acesta va porni și se va opri la un prag minim stabilit (27°C). Se poate vedea cum odată cu pornirea pompei atât temperaturile de pe suprafața PFV, cât și temperatura apei la ieșire scad în același timp ce puterea electrică produsă crește.

Conform fig. 18 și 19, la ora 14:05, PFVT este expus la soare iar la 14:10 încep colectarea de date. Temperatura pe suprafața superioară a PFVT crește accelerat și la ora 14:55, acesta atinge 83°C , iar radiația solară scade datorită unei formățiuni de nori, influențând și temperatura PFVT.

Ora 15:05, temperatura apei din bazinul de răcire atinge temperatura de 40°C , moment în care pompa începe să împingă apă caldă spre exterior, iar când temperatura apei la ieșire ajunge la 27°C , pompa se oprește.

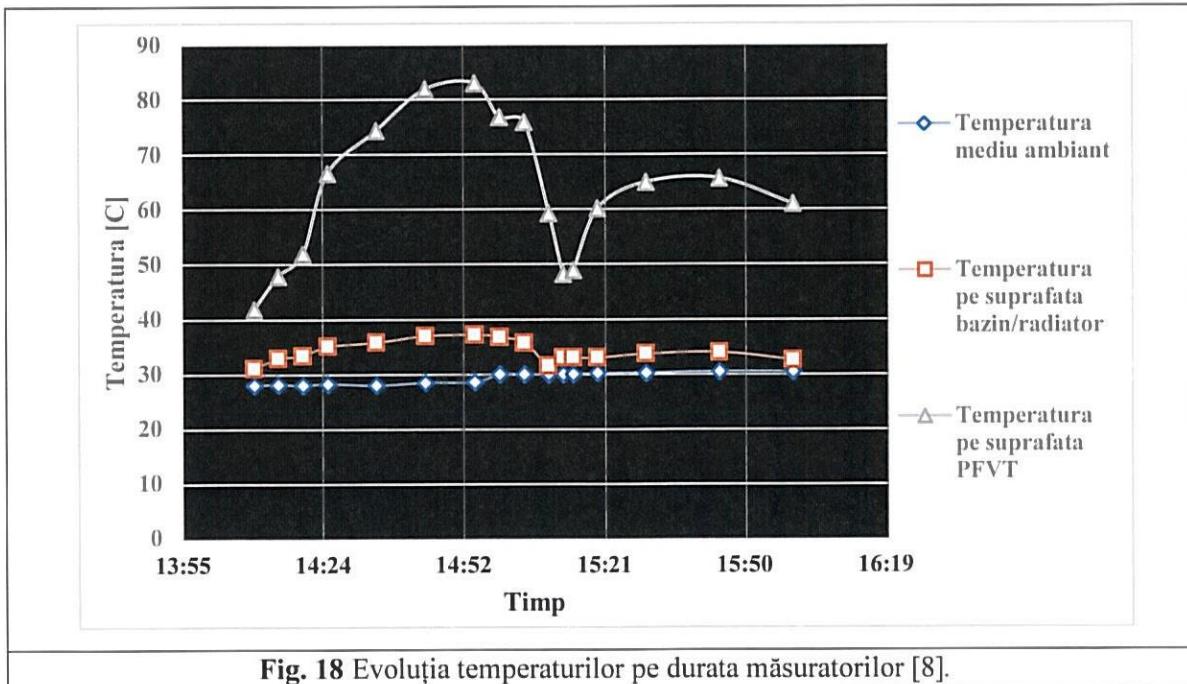


Fig. 18 Evoluția temperaturilor pe durata măsuratorilor [8].

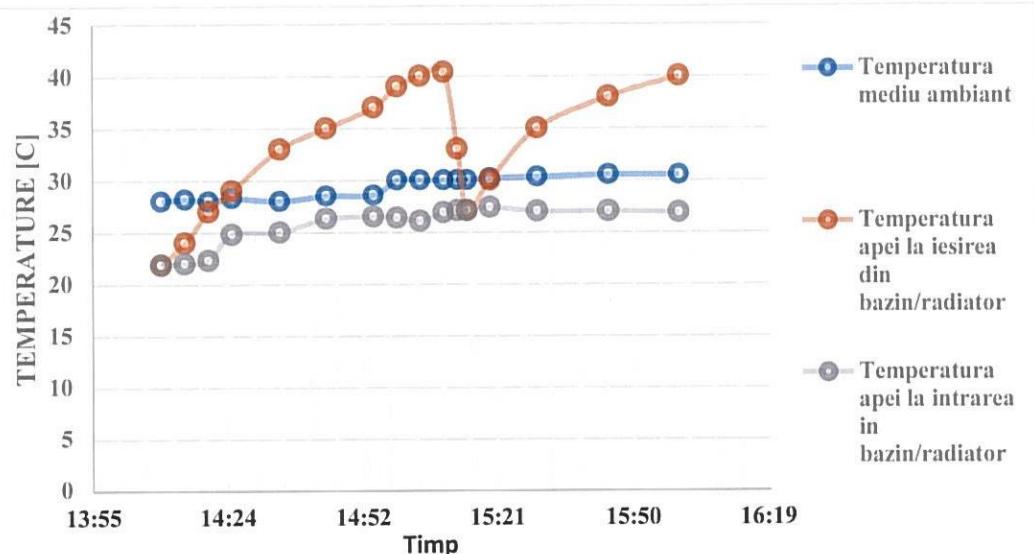


Fig. 19 Evolutia temperaturilor apei de la intrarea și iesirea din bazinul/radiator [8].

În fig. 20 putem vedea că datorită radiației amplificate de oglinzi curentul debitat de PFVT este de 1,4 A mult mai mare decât cel dat de PFV standard (0,95 A) în aceeași condiții.

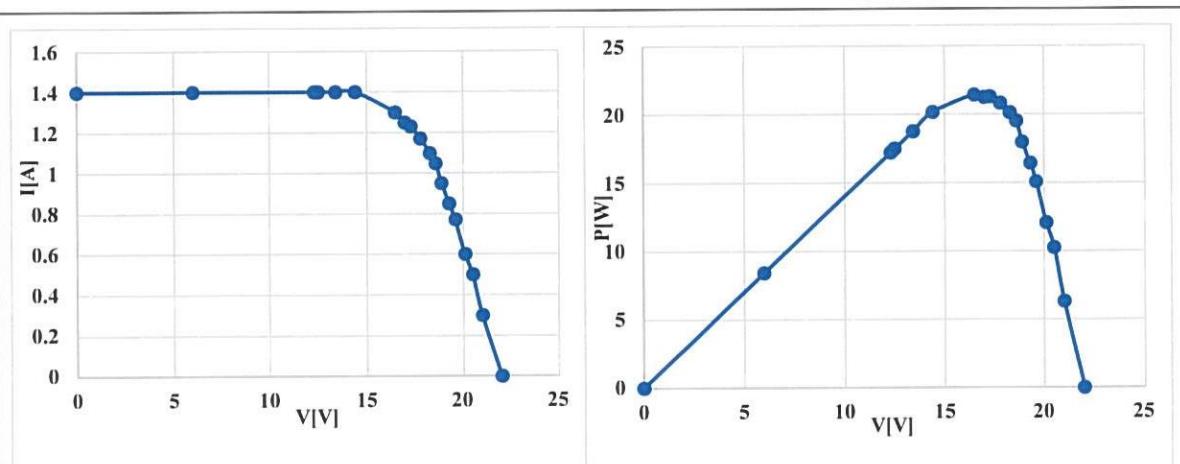


Fig. 20 Caracteristicile $P=f(V)$ și $I=f(V)$ pentru modelul folosit [8].

Măsurările au fost efectuate în luna august, pentru o anumită poziție a PFVT și a oglinzilor în raport cu poziția Soarelui, respectiv pentru anumite condiții meteo (temperatură atmosferică $T_a \approx 29$ °C, iradianță solară $G \approx 770$ W/m²). Dacă măsurările se repetă în alte condiții meteo sau pentru alte poziții ale PFVT, rezultate ar putea fi diferite.

Capitolul 7. Comparații între modelele experimentale utilizate

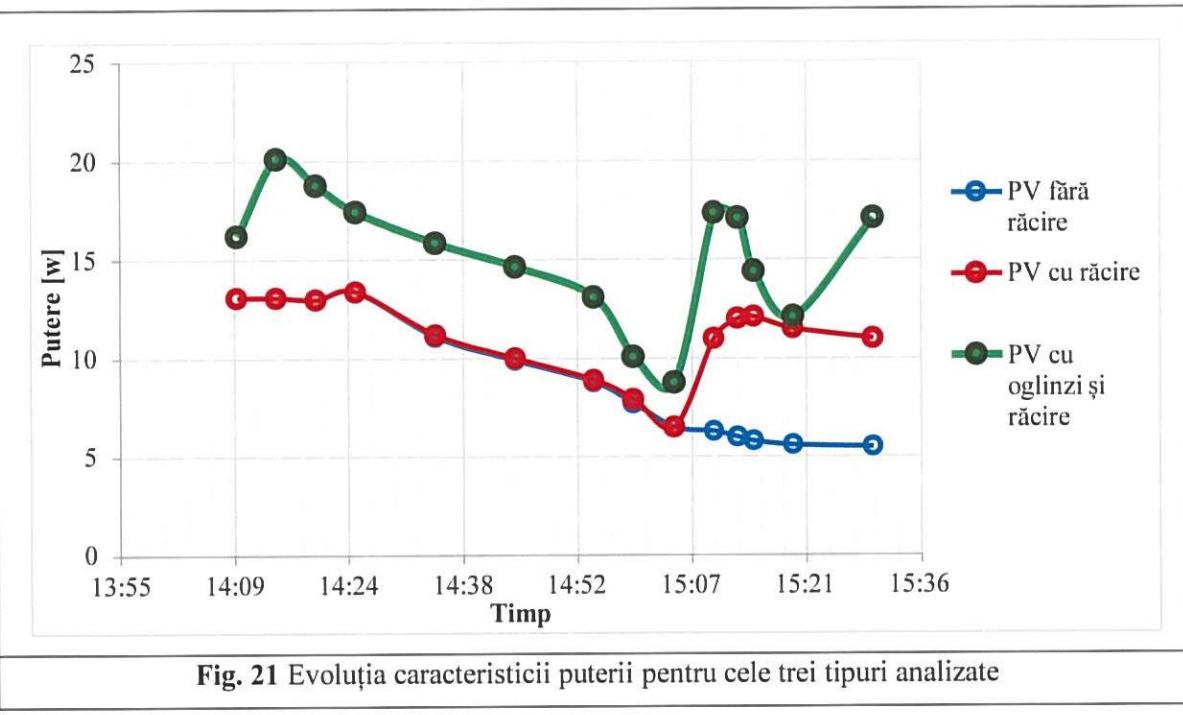
7.1 Panou fotovoltaic 20Wp

Primul experiment realizat în regim propriu, folosind un panou PFV de 20Wp studiat în trei etape:

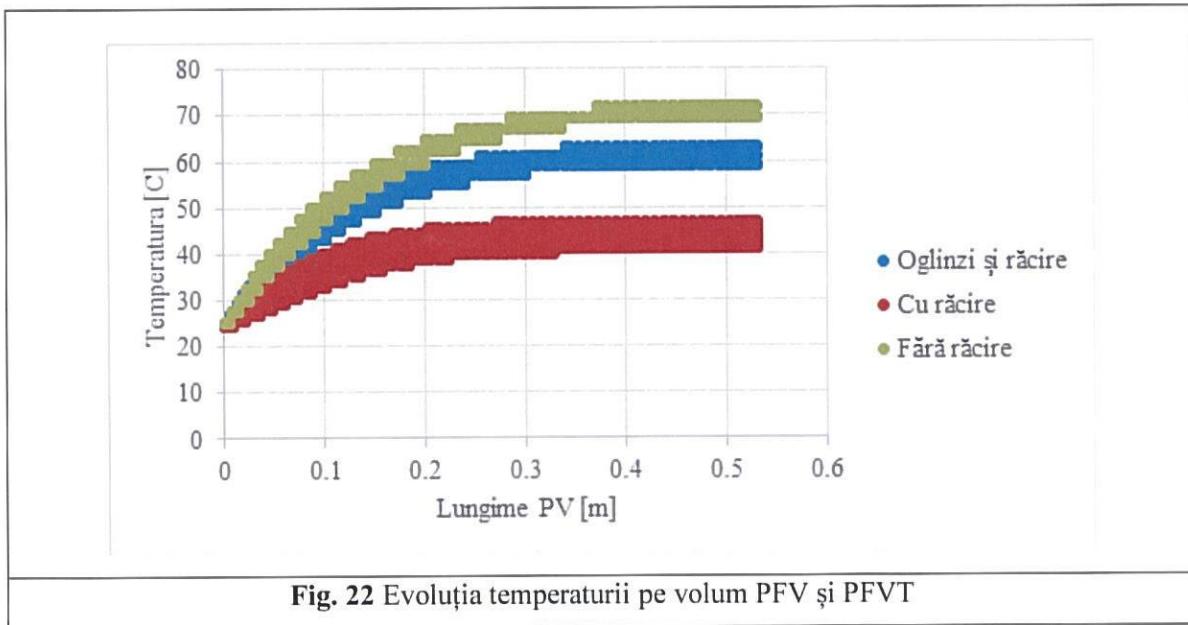
- Prima etapă PFV simplu fără nici o altă formă de îmbunătățire a randamentului;
- A doua etapă s-a montat pe spatele PFV un radiator sub formă de bazin cu șicane prin care apa folosită ca agent de răcire trece prin aceste canale de jos în sus răcind spatele PFV;
- Etapa a treia, a constat în montarea a 2 oglinzi pe lateralele PFV (E-V) de aceeași dimensiune ca PFV și automatizarea sistemului de răcire și înregistrarea datelor folosind Anduino;

În fig.21 sunt trasate caracteristicile privind evoluția puterii electrice debitată de PFV în cele 3 tipuri analizate astfel:

- Panoul PFVT echipat cu oglinzi și răcit. Din min. 14:10 - 14:15 are loc reglarea oglinzilor, ajungând la o putere debitată de 20,1W ($q=852W/m^2$, $t=30^0C$), urmează o descreștere a puteri electrice datorată încălzirii PFV. La ora 15:05, pompa submersibilă pornește și răcește PFV până când temperatura apei la ieșire ajunge la 27^0C , urmează încă un ciclu de încălzire (15:10 - 15:20) apoi un ciclu de răcire. Se poate observa că datorită oglinzilor puterea electrică produsă în punctul din min. (15:05) este cu aproximativ 35% mai mare decât în celelalte cazuri. Dacă în prima parte de la expunerea la soare panta de descrește a puteri electrice este la fel ca în celelalte cazuri, după primul ciclu PFV se încălzește mult mai repede și are nevoie de răcire.
- PFVT cu răcire. În cazul acestuia încălzirea ansamblului (14:10 - 14:25) se face un pic mai lent, temperatura ansamblului începe să crească și puterea electrică scade pana la momentul orei 15:05 când pompa este pornită manual iar după 8 min. este oprită. Față de primul caz cel cu oglinzi, încălzirea ansamblului este mai lentă și puterea electrică debitată este mai mică.
- PFV nerăcit. Caracteristica puterii în cazul acesta este pe o panta descendentă iar la momentul 15:20 acesta se stabilizează.



În fig.22 este redat modul de încălzire a volumului fiecarui ansamblu în parte. În condițiile date (temperatură, radiație, debit), putem observa că temperatura în cazul PFV fără răcire atinge pe suprafața sa expusă la soare aproximativ 72°C . Chiar dacă este răcit în cazul PFVT cu oglinzi temperatura este mai mare datorită amplificării radiației cu ajutorul oglinzelor.



7.2 Panoul foto-voltaic-termic 300Wp

Al doilea experiment constă într-un panou PFV echipat cu sistem de stabilizare termică și de recuperare a căldurii respectiv cu elemente de concentrare a radiației solare. Experiment a

fost făcut în cadrul Programului PNIII – BRIDGE GRANT 68BG/2016, Titlul Proiectului - *Sistem electrotehnic bazat pe conversia energiilor solară și eoliană*.

În fig. 23 putem observa efectul oglinzilor dar și a răcirei asupra parametrilor PFVT, astfel în momentul montării oglinzilor puterea electrică debită crește cu 31% iar în momentul când este pornită și pompa puterea electrică ajunge să crescă și cu 60%. Măsuratorile au fost făcute în luna februarie la o temperatură de 17°C și o radiație de $G \approx 920 \text{ W/m}^2$, influența căldurii fiind foarte mică.

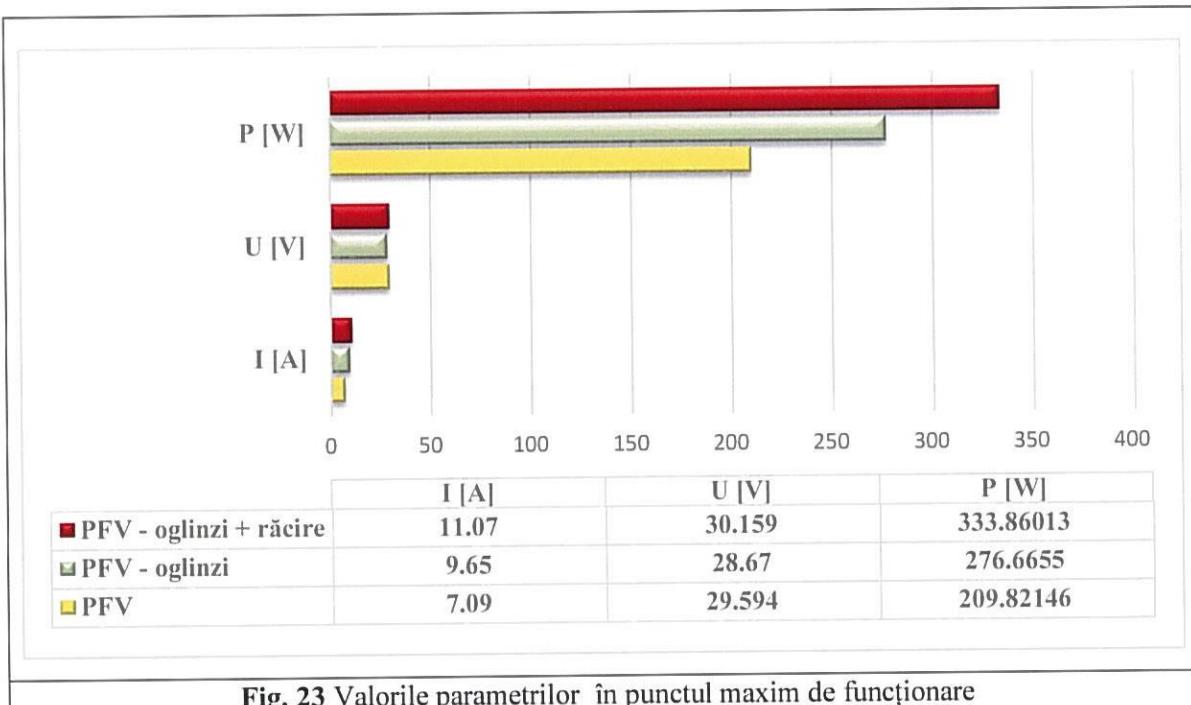


Fig. 23 Valorile parametrilor în punctul maxim de funcționare

Deși măsuratorile au fost făcute într-o perioadă rece, aportul de energie termică este consistent. Cu cât temperatura mediului ambient crește, crește și energia termică produsă și scade energia electrică, ca efect al încălzirii celulelor fotovoltaice, iar ponderea energiei termice în bilanțul total poate ajunge și la 90% pe timpul verii. Pe timpul ierni există probabilitatea ca cele 2 energii produse să fie aproximativ egale în anumite perioade.

7.3 Randamentul între tipurile de panouri fotovoltaice studiate

Randamentul PFVT echipat cu oglinzi și sistem de răcire s-a determinat cu ajutorul relației de calcul de mai jos:

$$\eta_{PFVTO} = 100 \cdot (P_{el} + P_{th}) / (P_S + P_p) \quad (1)$$

unde: P_{el} este puterea activă produsă de PFVT, P_{th} este puterea termică a PFVT, P_p este puterea absorbită de sistemul de pompă, P_S este puterea totală primită de la Soare (inclusiv pe suprafața oglinzilor).

Randamentul PFVT-NS 300W

Valoarea randamentului resultant al PFVT echipat cu oglinzi și răcire va fi:

$$\eta_{PFVTO} = 44.1 \% \quad (2)$$

În varianta PFV clasic, fără oglinzi și fără a folosi sistemul de răcire:

$$\eta_{PFV} = 12.22 \% \quad (3)$$

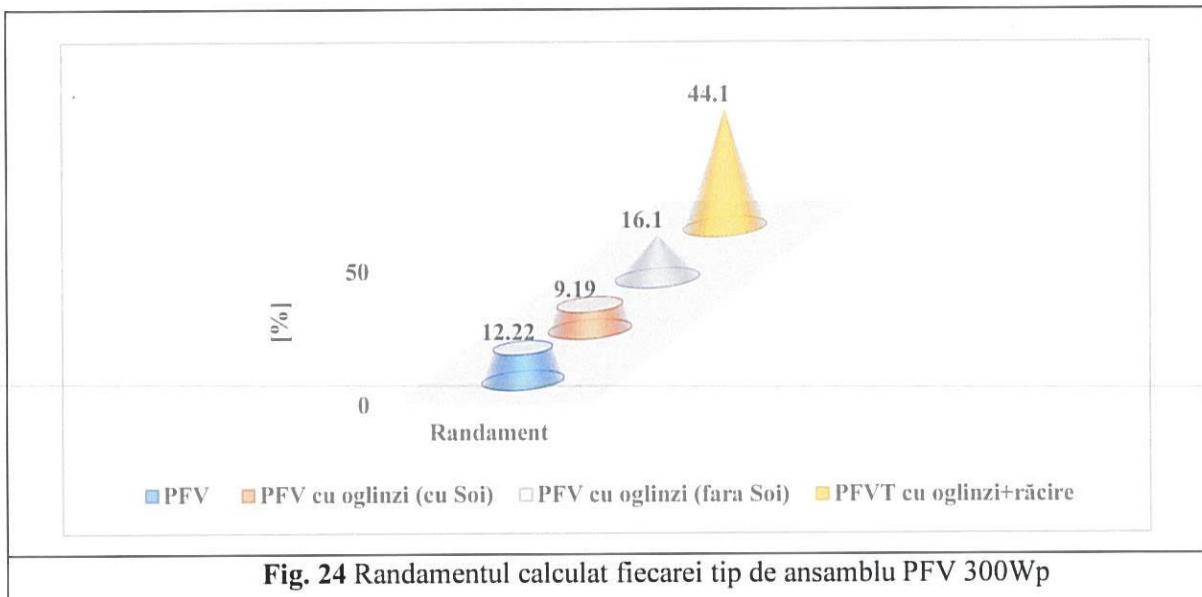
Valoare randamentului PFV doar cu oglinzi a fost calculat în 2 moduri:

- a) Se ia în considerare și puterea primită de la Soare prin oglinzi

$$\eta_{PFVO} = 9.19 \% \quad (4)$$

- b) Fără a se lua în considerare și puterea primită de la Soare prin oglinzi

$$\eta_{PFVO} = 16.1 \% \quad (5)$$



Randamentul PFVT-EV 20W

In urma măsuratorilor experimentale efectuate asupra PFVT echipat cu oglinzi:

$$\eta_{PFVTO} = 47.3 \% \quad (6)$$

In acelasi conditii ale mediului ambiant un PFV clasic:

$$\eta_{PFV} = 8.36 \% \quad (7)$$

Iar în cazul PFVT atunci când funcționează cu răcire

$$\eta_{PFVT} = 33.2 \% \quad (8)$$

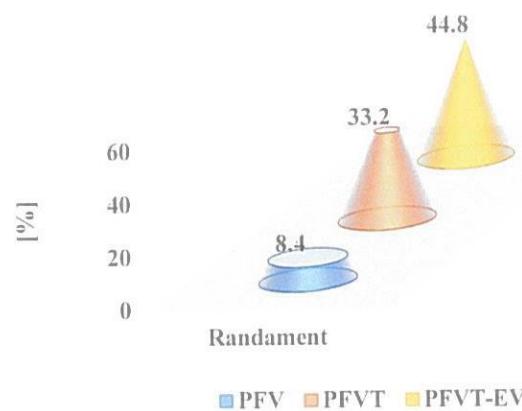


Fig. 25 Randamentul calculat fiecarei tip de ansamblu PFV 20Wp

Concluzii

În urma măsurătorilor și analizelor făcute se conturează următoarele concluzii:

- O creștere a temperaturii mediului ambient va duce automat la creșterea temperaturii de funcționare a panourilor fotovoltaice ceace va afecta randamentul acestora;
- Energia produsă de un PFV convențional este mai mică decât energia produsă de un panou care utilizează un sistem de răcire, iar energia suplimentară obținută este mai mare decât energia necesară pentru răcirea panourilor;
- PFVT răcite cu apă au un potențial bun în furnizarea de energie electrică și apă caldă pentru aplicații de preîncălzire;
- Proprietățile materialului din care este realizat schimbătorului de căldură, modifică eficiența PFVT;
- Temperatura apei de intrare, precum și temperatura mediului ambient are un rol important în răcirea PFVT;
- Ca agent de răcire , apa absoarbe mai multă căldură decât aerul;
- Energia termică produsă de sistemele fotovoltaice, în cazul răcirii PFVT cu apă, poate fi folosită pentru apă caldă menajeră, iar în cazul răcirii PFV cu aer, poate fi folosită pentru încăzirea unei încăperi;
- Aportul suplimentar de putere al oglinzilor în punctul optim de funcționare pentru PFVTO - NS este de circa 20 %, iar pentru PFVTO - EV este aproximativ 40 %;

Contribuții originale

Contribuțiiile aduse sunt următoarele:

- realizarea unui model matematic în Comsol ce poate fi folosit pentru testarea mai multor tipuri de panouri fotovoltaice cu sistem de răcire pentru a observa comportarea acestuia la modificarea diferenților parametri temperatură mediului ambient, radiația solară, cât și optimizarea sistemului de răcire prin modificarea canalului pentru curgerea fluidului și debitul acestuia;
- realizarea bazinelor cu șicane din aluminiu și inox folosite la răcirea PFV YSP-20M și a sistemului de răcire;
- realizarea sistemului de susținere oglinzi pentru PFVT YSP-20M;
- participarea la realizarea și implementarea programului Arduino pentru monitorizarea și automatizarea sistemului;
- realizarea și implementarea schemei electrice pentru implementarea Arduino;
- efectuarea de măsurători în mai multe stadii ale proiectului de îmbunătățire a randamentului de la simpla răcire a PFV până la răcirea unui sistem PFV cu oglinzi automatizat;
- participarea în calitate de asistent cercetător în cadrul Programului PNIII – BRIDGE GRANT 68BG/2016, Titlul Proiectului *Sistem electrotehnic bazat pe conversia energiilor solară și eoliană*, la realizarea sistemelor și efectuarea de măsurători;
- efectuarea de măsurători ale radiației și temperaturii mediului ambient pentru diferite date calendaristice, cu ajutorul senzorilor montați în proiectul INFRASOLAR din ICPE.
- rezultatele cercetărilor obținute pe durata programului de doctorat au fost valorificate prin publicarea a unui nr. de 7 lucrări/articole de specialitate dintre care: 5 în reviste cotate IEEE, 1 în reviste BDI, un articol aflându-se în etapa de recenzie în vederea publicării la revista Scientific Bulletin UPB
- lucrările publicate au fost citate de 10 ori conform bazei de date Google Scholar

Bibliografie

- [1] Valeriu Bostan, Gabriel Colț, Tiberiu Tudorache, Sanda Victorinne Paturca, Ionel Bostan - Analysis of a Photo-Voltaic-Thermal Panel Using Comsol and Simulink/Simscape Tools, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, România, 2017;
- [2] Gabriel Colț - Performance Evaluation of a PFV Panel by Rear Surface Water Active Cooling, International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, România, 2016;
- [3] Valeriu Bostan, Tiberiu Tudorache, Gabriel Colț - Improvement of Solar Radiation Absorption of a PFV Panel Using a Plane Low Concentration System, The 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, România, 2017;

- [4] Aurelian Crăciunescu, Claudia Popescu, Mihai Popescu, Marin-Leonard Florea, Elena Drugan and **Gabriel Colț** - The Analyze of the Dynamic Performances of Two Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic System, AIP Conference Proceedings 1648:1, Rhodes, Greece, 2015;
- [5] A. Crăciunescu, A. M. Croitoru, **G. Colț**, C. L. Popescu and M. O. Popescu - Thermal Experimental Investigation on Air Cooled PFV Panel, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'16), Madrid, Spania, 2016;
- [6] Tiberiu Tudorache, Leonard Melcescu, Valeriu Bostan, **Gabriel Colț**, Mihail Popescu, Mihai Predescu - Electromagnetic Analysis of a Hybrid Permanent Magnet Generator, Revue Roumaine Sciences TechniquesSerie Électrotechnique et Énergetique. Vol. 63, 1, pp. 33–37, Bucharest, România, 2018;
- [7] Tiberiu Tudorache, **Gabriel Colț** - Identificarea Parametrilor unui Micro-mcc cu Magneți Permanenți, Simpozionul de Mașini Electrice SME'12, Bucharest, România, 2012;
- [8] **Gabriel Colț**, Tiberiu Tudorache, Daniel Zdrentu, Daniela Dragan, Andrei Dragan - Performance analysis of a PFVT module equipped with solar concentrators and arduino controller, University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin, Bucharest, România, 2020;
- [9] **Gabriel Colț**, Tiberiu Tudorache. - Modelarea unui sistem fotovoltaic de alimentare cu energie electrică a unei locuințe – Proiect Licenta, Facultatea de Inginerie Electrică, UPB, Bucharest, România, 2010;
- [10] Marcelo Gradella Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F. - Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, 2009;
- [11] <https://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ref/solarcell.html>
- [12] <https://www.optimusdigital.ro/ro/>;
- [13] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>;
- [14] PNIII Nr.68BG/2016 - Sistem electrotermic bazat pe conversia energiilor solară și eoliană; București, RO
- [15] Professor Ernesto Gutierrez Miravete, - Active forced convection photovoltaic/thermal panel efficiency optimization analysis, Rensselaer Polytechnic Institute Hartford, CT April, 2012, pp 17-30;
- [16] Alboteanu Ionel Laurentiu,- Increase efficiency of stand alone photovoltaic systems by reducing temperature of cells, University of Craiova, Faculty of Electrical Engineering, Craiova, ROMANIA, Annals of the „Constantin Brâncuși” University of Târgu Jiu, Engineering Series, Issue 3/2011
- [17] L. Dorobanțu, M. O. Popescu, C. L. Popescu, and A. Crăciunescu, - Experimental Assessment of PFV Panels Front Water Cooling Strategy, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13) Bilbao (Spain), 20th to 22th March, 2013 Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ) ISSN 2172-038 X, No.11, March 2013;
- [18] Sorin Florică Abagiu, - Optimization of Power Systems with Photovoltaic Power Plants - PhD Thesis – University Transilvania of Brasov, 2016;
- [19] A.D. Jones and C.P. Underwood, - A Thermal Model For Photovoltaic Systems, Solar Energy

- Vol. 70, No. 4, pp. 349–359, Printed in Great Britain, 2001;
- [20] Raport național 2018 – ANRE;
- [21] *T.T. Chow*, - A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, 2010, 87: 365–379;
- [22] *Douwe W. de Vries*, - Design of a photovoltaic/thermal combi-panel, Eindhoven Technical University, 1998;
- [23] *Bergene T, Lovvik OM.*, - Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells, *Solar Energy*, 1995;
- [24] *Ing. Ana-Maria CROITORU*, - The analysis of thermal energy exploitation developed by photovoltaic systems, PhD Thesis, Univ. Politehnica of Bucharest, Romania, (2014);
- [25] *Ibrahim A, Othman MY, Ruslan MH, Alghoul MA, Yahya M, Zaharim A, et al.*, - Performance of photovoltaic thermal collector (PFVT) with different absorbers design, *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2009;
- [26] *Chow TT, Ji J, He W.*, Photovoltaic thermal collector system for domestic application, *Proceedings of Solar World Congress*, 2005, ISEC 2005-76128;
- [27] *Alfegi MEA, Sopian K, Othman MYH, Yatim BB.*, Experimental investigation of single pass, double duct photovoltaic thermal (PFV/T) air collector with CPC and fins, *American Journal of Applied Sciences*, 2008, 5:866–71;
- [28] *Alfegi EMA, Sopian K, Othman MYH, Yatim BB.*, The effect of flow rates on the performance of finned single pass, double duct photovoltaic thermal solar air heaters, *European Journal of Scientific Research*, 2009 25:339–4;
- [29] *M. Ebrahim Ali Alfegi, Kamaruzzaman Sopian, Mohd Yusof Hj Othman and Baharudin Bin Yatim*, - Experimental Investigation of Single Pass, Double Duct Photovoltaic Thermal (PFV/T) Air Collector with CPC and Fins, *American Journal of Applied Sciences*, 2008, 5 (7): 866-871;
- [30] *Othman MY, Yatim B, Sopian K, Bakar MNA*, - Double-pass photovoltaic-thermal solar air collector with compound parabolic concentrator and fins, *Journal of Energy Engineering*, 2006, 132:116–20;
- [31] *Jin GL, Ibrahim A, Chean YK, Daghagh R, Ruslan H, Mat S, et al.*, - Evaluation of single-pass photovoltaic-thermal air collector with rectangle tunnel absorber, *American Journal of Applied Sciences*, 2010, 7:277–82;
- [32] *Tsung-Hsi Wu ; Wei-Chen Liu ; Chin-Sien Moo ; Hung-Liang Cheng ; Yong-Nong Chang*, - An electric circuit model of photovoltaic panel with power electronic converter, *17th IEEE Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, 2016;
- [33] *Mohammed S. Ibbini, Shadi Mansi, Mohammad Masadeh, Eid Hajri*, - Simscape Solar Cells Model Analysis and Design, Conference: Computer Applications in Environmental Sciences and Renewable Energy, Malaysia, 2014;
- [34] www.europarl.europa.eu/news/ro/press-room/20181106IPR18315/energie-noi-obiective-ambitioase-pentru-regenerabile-si-eficienta-energetica