

ETAPA II. INTERCONECTAREA EXPERTIZEI EXISTENTE ÎN CADRUL UVT CU NECESITĂȚILE ICPE-SA

Raport științific și tehnic – Etapa a II-a
Proiect SICEPV, contract 62BG/2016

Prezentul raport înglobează realizările și rezultatele specifice celor patru activități științifice și tehnice finalizate în cadrul proiectului SICEPV, contract 62BG/2016, în cadrul etapei a II-a. Toate activitățile prezentei etape au urmărit obiectivele propuse în planul de realizare al proiectului. Activitățile descrise sunt următoarele:

Activitatea II.1- Caracterizarea componentelor simulatorului solar existent la ICPE SA

Caracterizarea componentelor simulatorului solar pentru caracterizarea *in-dor* a celulelor și modulelor PV: lampa Xenon, utilizată ca sursă de radiație și sistemul de achiziție de date.

Activitatea II.2 Stabilirea metodologiilor specifice de caracterizare a sistemelor PV

Elaborarea metodologiilor de monitorizare a aplicațiilor PV.

Elaborarea metodologiilor de testare conform standardelor din domeniu.

Activitatea II.3 Dezvoltarea elementelor de interconectare a componentelor în vederea funcționării simulatorului solar

Măsurători de calibrare pe simulatorul solar ORIEL Sol3A, folosind celula de referință PV ORIEL, existentă la ICSTM-UVT. Interconectarea funcțională a echipamentelor care compun sistemul de caracterizare *in-dor* (simulatorul solar) a celulelor și modulelor PV și punerea în funcțiune a sistemului integrat. Caracterizarea, cu scop demonstrativ, a unor celule și module PV. Integrarea funcțională a sistemului de caracterizare *off-dor* (caracterograful PVPM 2540C) a modulelor și generatoarelor PV și a sistemului pentru testarea aplicațiilor PV (Green Test FTV 100). Măsurători demonstrative a unor module PV.

Activitatea II.4 Dezvoltarea de aplicații pentru sistemul de caracterizare *in-dor* și *off-dor*

Realizarea de evaluări preliminare a performanțelor unor module PV, a funcționalității în timpul instalării și în faza de funcționare în condiții standard de funcționare.

Livrabile:

1. Editarea unui material conținând standardele specifice de testare a celulelor și modulelor PV (variantă e-book):

Gabriela Măntescu, Marina Olariu, Liviu Olteanu, *Monitorizarea și testarea sistemelor fotovoltaice conform standardelor internaționale*, Valahia University Press, Târgoviște, 2017, ISBN: 978-606-603-184-4

2. Articole:

Dragomir F., Dragomir O.E., Olariu N., Oprea A. - *Efficiency Optimization of a Standalone PV System Using Dual-MPPT Control*, April 25-26, Proceedings of the 6th International Conference on “Recent Trends in Engineering and Technology” (RTET-17), Paris, France, 2017

Dragomir O.E., Dragomir F., Olariu N., Oprea A. - *Comparative Analysis of PV Output Characteristics Focusing on I-V and P-V Curves*, April 25-26, Proceedings of the 6th International Conference on “Recent Trends in Engineering and Technology” (RTET-17), Paris, France, 2017

Dragomir O.E., Dragomir F. - *Pattern recognition tool for energy consumption profiles identification*, Proceedings of the 17th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies, 2017

Lakatoș E.S., Dragomir F., Olteanu L., Oprea A., Măntescu G., Olariu N. - *Modelling and simulation of photovoltaic modules using SPICE/Matlab*, E.E.A.-Electrotehnică, Electronică, Automatică, acceptat spre publicare în vol. 65(4), 2017 sau vol. 66(1), 2018;

Dragomir F., Dragomir O.E., Oprea A., Olteanu L., Olariu N., Ursu V. - *Simulation of lithium-ion batteries from a electric vehicle perspective*, The Electric Vehicles International Conference, București, 5-6 October 2017

Dragomir O.E., Dragomir F. - *Hybrid Neuro-Fuzzy Tool for Clustering of Electric Energy Consumer Profile*, Journal of the Engineering Applications of Artificial Intelligence, <https://www.journals.elsevier.com/engineering-applications-of-artificial-intelligence/>, in evaluare, 2017

Activitatea II.1- Caracterizarea componentelor simulatorului solar existent la ICPE SA

În cadrul acestei activități sunt descrise principalele componente ale simulatorului solar pentru caracterizarea *in-dor* a celulelor și modulelor PV: lampa Xenon, utilizată ca sursă de radiație și sistemul de achiziție de date. Criteriile de lucru folosite au fost: caracteristicile tehnice ale fiecărui element considerat și gradul de adecvare al acestora cu obiectivele de îndeplinit și cu specificitatea locației în care vor fi instalate.

Caracteristici tehnice lampă – sursa de radiație

Lampă cu xenon tip MH6060

$U_{\text{flash}} = 960\text{V}$

$E_{\text{max}} = 8000\text{J}$

$U_N = 230\text{V}$

$P_{\text{max}} = 650\text{ W}$

Sistemul de achiziție de date. În cadrul sistemului intră o serie de module de intrare/ieșire NuDam (fig. 1.1), astfel:

NuDam ND-6050 – Intelligent DA&C Module, Digital I/O Module – Modul Digital I/O

- 7 canale digitale de intrare, de tip TTL, 0.5mA
- 8 canale digitale de ieșire, 30V, max. 30mA
- Alimentare 10÷30V curent continuu
- Putere consumată 0.53W.

NuDam ND-6024 – Intelligent DA&C Module, 4 Channel Analog Output Module – Modul de ieșire analogic

- 4 canale analogice de ieșire,
- Domeniu ieșire tensiune: $\pm 10\text{V}$
- Rezoluția: 12 biți
- Alimentare 10÷30V curent continuu
- Putere consumată 1.6W

NuDam ND-6013 – Intelligent DA&C Module, 3Ch RTD Input Module – Modul de intrare RTD – 2 module

- 3 canale analogice de intrare,
- Achiziție de temperatură de la senzori de tip PT100, NI100 sau NI120 RTD
- Domeniu temperatură pentru PT100: 0°C to $+100^\circ\text{C}$ = 0.00385
- Alimentare 10÷30V curent continuu
- Putere consumată 0.8W.

NuDam ND-6017 – Intelligent DA&C Module, 8 Channel Analog Input Module – Modul de intrare analogic

- 6 canale analogice de intrare, de tip "differential",
- 2 canale analogice de intrare, de tip "singled-ended",
- Domeniu intrare tensiune: $\pm 150\text{mV}$, $\pm 500\text{mV}$, $\pm 1\text{V}$, $\pm 5\text{V}$, $\pm 10\text{V}$
- Domeniu intrare curent: $\pm 20\text{mA}$
- Alimentare 10÷30V curent continuu
- Putere consumată 1.2W.

Modulele ND-6050, ND-6024 și ND-6017 sunt utilizate pentru comanda încărcării cu tensiune a blocului de condensatori folosiți la alimentarea lămpii, precum și la sincronizarea realizării blitz-ului de lampă cu momentul achiziției de date de la senzorii sistemului (tensiunea și curentul panoului PV, temperaturile de pe modulul PV, ale mediului ambiant, radiația, etc) în vederea ridicării caracteristicilor IV și PV. Aceste module se regăsesc în dulapul "Electronic cabinet" (87651.1). Condensatoarele utilizate pentru alimentarea cu un impuls de supratensiune de 960V a lămpii se găsesc în dulapul "Capacitor Cabinet" (87651.2).

Modulele ND-6013 sunt utilizate pentru achiziția temperaturilor. Un astfel de modul se găsește în dulapul "Electronic cabinet" (87651.1) și este folosit pentru achiziția temperaturii de la panoul PV. Celălalt modul se regăsește în unitatea "Moduletester Front-Side" (87651.8) și este folosit pentru achiziția temperaturii celulei de referință și a mediului ambiant. Senzorii folosiți pentru achiziția temperaturii sunt cu termorezistențe PT100.



Fig. 1.1. Sistemul de achiziție date NuDam

Funcționarea acestor module de achiziție de date a fost testată și validată prin confirmarea legăturilor de comunicație dintre acestea și ” PC” (87651.4), după cum se poate vedea și în figura 1.2.

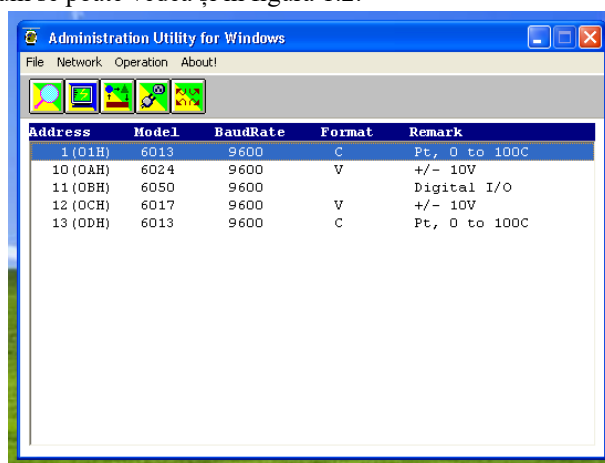


Fig. 1.2. Interfața aplicației software *NuDAM Admin*

Activitatea II.2 Stabilirea metodologiilor specifice de caracterizare a sistemelor PV

Importanța standardelor în cadrul desfășurării activităților de proiectare, fabricație, testare și comercializare a sistemelor fotovoltaice (PV) a fost de mult recunoscută și promovată. În acest sens, se prezintă informațiile necesare dezvoltării conceptului de "sistem energetic fotovoltaic" pe parcursul întregului proces de la intrarea luminii într-o celulă fotovoltaică până la interfața cu sistemul (sistemele) electric(e) la care este furnizată energia.

Pentru caracterizarea procedurilor de testare a panourilor și celulelor fotovoltaice este necesară definirea inițială a termenilor și simbolurilor utilizate pe parcursul etapelor procedurilor de testare precum și în aplicațiile de laborator. Astfel, trebuie definite principalii parametri specifici unui sistem energetic fotovoltaic: *masa aerului (AM)*, *temperatura ambiantă (T_{amb})*, *unghiul de incidență*, *șirul PV*, *câmpul de șiruri PV*, *temperatura celulei (T_j)*, *eficiența (randamentul) de conversie*, *caracteristica curent-tensiune ($I = f(V)$)*, *radiația solară*, *curentul*, *tensiunea și puterea de sarcină*, etc.

Măsurătorile instalațiilor fotovoltaice trebuie să aibă loc conform unui protocol de analiză a datelor și a performanței unui sistem PV adecvat pentru compararea instalațiilor fotovoltaice. Astfel, Standardul IEC (International Electrotechnical Commission) 61724 prezintă condițiile generale pentru monitorizarea și analiza performanțelor electrice ale sistemelor fotovoltaice (PV).

Analiza datelor are rolul de a furniza un rezumat al performanței, adecvat pentru compararea instalațiilor fotovoltaice de diferite dimensiuni, care funcționează în diferite condiții climatice și care furnizează energie pentru utilizări diferite, identificându-se astfel modele sau proceduri de operare specifice; pentru monitorizarea sistemelor au fost realizate în cadrul standardului instrucțiuni care descriu un format de fișier util schimbului de date.

Pentru monitorizare este necesară utilizarea unui sistem de achiziție de date bazat pe microprocesoare și fișiere specifice. De asemenea, sunt recomandate proceduri de monitorizare a caracteristicilor sistemelor fotovoltaice din punct de vedere al energiei, cum ar fi: *radiația solară în planul modulelor*, *date de ieșire ale șirului de module*, *date de intrare și ieșire ale sistemului de stocare a energiei*, *date de intrare și ieșire ale sistemului de control a puterii*, precum și pentru schimbul și analiza datelor monitorizate.

Scopul acestor proceduri este de a evalua performanța generală a sistemelor fotovoltaice configurate ca rețele independente sau de sisteme conectate la rețeaua de utilități sau ca fiind sisteme hibride fotovoltaice / generatoare electrice (sau turbine eoliene).

Schimbările poziției aparente a Soarelui pe parcursul unui an sau a unei zile la fel ca și diferențele meteorologice dintre vară și iarnă, produc fluctuații mari ale cantităților de radiații solare disponibile în planul activ al unui panou fotovoltaic. O modificare în orientarea sau înclinarea generatorului solar afectează de asemenea cantitatea de energie luminoasă care poate fi convertită în energie electrică. Înclinația receptorului schimbă raportul radiației incidente în zilele noroase față de zilele însorite, în comparație cu media asupra unei suprafețe orizontale. În timpul iernii, pentru o înclinare abruptă de 60° la 70° , până la 15 ori mai multă energie poate fi incidentă pe generatorul solar în timpul zilelor însorite decât în timpul zilelor înnorate.

Unghiul optim de înclinare al generatorului solar depinde de condițiile specifice ale zonei unde este folosit sistemul. O distincție clară trebuie făcută între sistemele conectate la rețea și cele izolate. Sistemele conectate la rețea sunt în general proiectate să realizeze producția maximă anuală. Cum toată energia produsă de generatorul solar este folosită direct de către consumator sau introdusă în sistemul de electricitate public, puterea maximă are aceeași dependență față de orientare și unghi ca și radiațiile solare incidente pe generatorul solar.

Datele de radiație solară sunt înregistrate în planul șirului de module PV pentru a fi utilizate în analiza performanțelor sistemului fotovoltaic. Datele de radiație solară din planul orizontal pot fi înregistrate pentru a permite compararea cu datelor meteorologice standard înregistrate în alte locații.

Radiația solară se măsoară, în același plan cu cel al panoului fotovoltaic, cu ajutorul dispozitivelor de referință calibrate sau prin intermediul piramometrelor. În cazul în care sunt utilizate, celule sau module de referință, acestea trebuie calibrate și întreținute în conformitate cu prescripțiile standardului IEC 60904-2 sau IEC 60904-6. Localizarea acestor senzori trebuie să fie reprezentativă pentru condițiile de iradiere ale șirului PV. Acuratețea senzorilor de radiație solară, inclusiv condiționarea semnalului, trebuie să fie mai bună de 5% din citire.

În cadrul monitorizării sistemelor PV, sunt precizate condițiile specifice *măsurării radiației solare*, *temperaturii aerului înconjurător*, *vitezei vântului*, *temperaturii modulului PV*, *tensiunii*, *curentului și puterii electrice*.

Pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a unui sistem PV este necesar un sistem automat de achiziție a datelor. Acuratețea totală a sistemului de monitorizare se determină printr-o metodă de calibrare. Sistemul de monitorizare trebuie să se bazeze pe un suport tehnic de tip hardware și software, documentat în mod corespunzător cu manuale de utilizare.

Intervalul de eșantionare pentru parametri care variază direct cu radiația solară trebuie să fie de 1 min sau mai puțin. Pentru parametri care au constante de timp mai mari, vor fi alese intervale corespunzătoare de monitorizare.

Ratele de schimb a valorilor pentru mulți dintre parametri de interes pot fi relativ mari. Radiația solară, de exemplu, se poate schimba la o viteză mai mare de $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ în condiții de cer parțial înnorat. În general, parametri din tabelul 1 trebuie să fie eșantionați în fiecare minut. Deși, temperaturile ambiante și cele ale modulului PV pot fi eșantionate la rate mai mici, este de preferat ca toți parametri să fie eșantionați la o rată comună și în mod continuu, în perioada de monitorizare specificată.

Datele eșantionate pentru fiecare parametru măsurat vor fi procesate în intervale medii de timp astfel încât cantitățile maxime sau minime și tranzițiile de interes special să poată fi determinate acolo unde este necesar. Pentru integrarea senzorilor de putere, datele eșantionate sunt însumate și împărțite la intervalul de înregistrare τ_T .

Valorile datelor prelucrate pentru fiecare parametru trebuie înregistrate pe oră. Înregistrările mai frecvente pot fi implementate acolo unde este necesar, cu condiția ca întreg intervalul de înregistrare τ_T să fie un multiplu întreg al unei ore.

La fiecare interval de înregistrare, se înregistrează ora și data de la sfârșitul perioadei în care au fost efectuate măsurătorile. Timpul se va referi întotdeauna la ora locală standard, nu la ora de dimineață. Ora universală poate fi utilă pentru a evita schimbările de iarnă / vară.

Perioada de monitorizare trebuie să fie suficientă pentru a furniza date operaționale reprezentative pentru condițiile specifice și ambientale. Prin urmare, perioada minimă de monitorizare continuă trebuie aleasă în funcție de utilizarea finală a datelor colectate.

Pentru o bună evidență a desfășurării proceselor, trebuie păstrat un jurnal de monitorizare pentru toate evenimentele neobișnuite, schimbările componentelor, erorile sau defecțiunile din sistem. De asemenea, trebuie remarcate și alte observații care ar putea fi utile în interpretarea și evaluarea datelor, cum ar fi vremea, recalibrarea senzorilor, modificări ale sistemului de achiziție a datelor, încărcarea sau funcționarea sistemului, probleme cu senzorii sau cu sistemul de achiziție de date. Toate lucrările de întreținere (cum ar fi schimbarea modulelor, modificarea unghiului de înclinare a șirului sau curățarea suprafețelor murdare a modulelor) trebuie documentate în mod explicit.

Pentru stocarea datelor sunt recomandate anumite formate ilustrative bazate pe înregistrări separate prin antet și înregistrări de date. Pentru transferul real de date, trebuie de asemenea să fie specificați termenii protocolului de linie, protocolul de comunicație și termenii sumelor de verificare.

Pentru buna funcționare și eficiență, sistemele PV trebuie să fie supuse unor secvențe de testare, efectuate într-o ordine bine stabilită.

La efectuarea încercărilor conform [1], trebuie să se respecte cu strictețe instrucțiunile de manipulare, montare și conectare specifice producătorului.

Standardul european CEI 60904-1 "Photovoltaic devices. Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics", descrie procedurile de măsurare a caracteristicilor dispozitivelor fotovoltaice, în lumină naturală sau simulată [2]. Standardul se aplică în cazul testării unei singure celule fotovoltaice sau a unui modul fotovoltaic (PV).

Scopul standardului este de a stabili cerințele de bază pentru determinarea caracteristicii curent-tensiune a dispozitivelor fotovoltaice și definirea tehnicilor de măsurare. Aparatele și dispozitivele necesare sunt specifice condițiilor de măsurare, în lumină naturală sau simulată.

Condițiile generale de testare a modulelor PV sunt prezentate în conformitate cu prescripțiile standardului IEC 60904-1, astfel:

- Măsurătorile de radiație trebuie să fie realizate cu ajutorul unui dispozitiv PV de referință, calibrat în conformitate cu IEC 60904-2 (Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar devices) sau IEC 60904-6 (Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules) sau cu un piranometru al cărui spectru de referință să respecte condițiile prescrise în IEC 60904 (Photovoltaic devices – Measurement of photovoltaic current - voltage characteristics).
- Temperatura dispozitivului de referință va fi măsurată cu o precizie de $\pm 1^\circ\text{C}$, cu repetabilitate de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Dacă temperatura măsurată va fi diferită cu mai mult de 2°C față de temperatura de calibrare, valoarea de calibrare va fi ajustată. Dacă dispozitivul de referință este un piranometru, atunci nu sunt necesare măsurători și corecții de temperatură pentru semnalul său de ieșire.
- Suprafața activă a elementului testat trebuie să fie coplanară, cu o precizie de $\pm 2^\circ$ față de dispozitivul de referință.
- Tensiunea și curentul vor fi măsurate cu instrumente de precizie $\pm 0,2\%$ pentru tensiunea de circuit deschis și curentul de scurt-circuit, utilizând conectori independenți la bornele dispozitivului de testare și menținându-i pentru un timp cât mai scurt.
- Curentul de scurt-circuit va fi măsurat la tensiunea zero folosind de preferință echipamente electronice pentru a compensa căderea de tensiune pe alternativ extern, curentul de scurt - circuit putând fi extrapolat din caracteristica specifică. Curba va fi extrapolată la tensiunea zero cu condiția ca V să fie mai mare de 3% față de tensiunea de circuit deschis, deoarece există o relație de liniaritate între curent și tensiune.
- Acuratețea procedurii privind corecția radiației și temperaturii conform standardului IEC 60891 va fi verificată periodic prin măsurarea performanței modulului PV la diferite nivele ale radiației luminoase și temperaturii și comparând datele corespunzătoare extrapolate la fel ca în standardul IEC 60904-10 (Photovoltaic devices - Part 10: Methods of linearity measurement).

Echipamentele necesare determinării caracteristicii $I - V$ în lumină simulată sunt următoarele:

- un dispozitiv de referință PV adaptat la modulul PV de testare, pe domeniile radiației solare, distribuției spectrale ale radiației solare și temperaturilor de interes;
- mijloace pentru măsurarea temperaturii dispozitivului de referință și modulului PV de testare;
- un simulator solar în conformitate cu standardul IEC 60904-9. Zona de testare desemnată trebuie să fie egală sau mai mare decât zona în care este calibrat.
- un spectroradiometru capabil să măsoare iradierea spectrală a simulatorului în intervalul de răspuns spectral al modulului PV de testare și a dispozitivului de referință, dacă sunt necesare corecții spectrale astfel definite la punctul 1.a.

În cazul testării în lumină simulată, la starea de echilibru a simulării luminii Soarelui, măsurătorile de performanță a modulelor fotovoltaice trebuie să respecte cerințele standardului IEC 60904-9. Uniformitatea distribuției luminii în zona de testare trebuie cunoscută și verificată periodic. Precizia de măsurare trebuie să fie verificată periodic prin măsurători succesive, la aceeași condiție de încercare. Pentru calibrare pot fi aplicate trei metode.

În cazul în care dispozitivul de testare are dimensiuni identice cu cele ale dispozitivului de referință, se va utiliza metoda A. În cazul în care dispozitivul de testare este mai mare decât dispozitivul de referință, se va utiliza metoda B. În cazul în care dispozitivul de testare este mai mic decât dispozitivul de referință, se va utiliza metoda C.

Metoda A: Configurația dispozitivului supus încercării trebuie să fie identică cu cea a dispozitivului de referință în ceea ce privește dimensiunile și proprietățile electrice. Pentru modulele PV, această cerință se referă la tipul de celule și la circuitul de interconectare a celulelor. Aparatul de referință și dispozitivul supus încercării trebuie să fie plasate în aceeași poziție în zona de testare.

Metoda B: Distribuția radiației solare în planul de testare nu poate fi complet uniformă. Radiația efectivă este iradierea medie de-a lungul zonei active a dispozitivelor. Pentru un dispozitiv de referință mai mic decât dispozitivul de testare, dispozitivul de

referință ar trebui să fie testat în diferite locații din cadrul sectorului de testare. O poziție care dă valoarea medie a măsurătorilor pentru dispozitivul de referință ar trebui să fie utilizată pentru poziționarea dispozitivului de referință și pentru stabilirea radiației.

Metoda C: Distribuția radiației solare în planul de testare nu poate fi complet uniformă. Radiația efectivă este iradierea medie de-a lungul zonei active a dispozitivelor. Pentru un dispozitiv de referință mai mare decât dispozitivul de testare, dispozitivul de testare ar trebui să fie testat în diferite locații din cadrul sectorului dispozitivului de referință. O poziție care dă valoarea medie a măsurătorilor dispozitivul de testare ar trebui să fie utilizată pentru poziționarea dispozitivului de testare în timpul încercărilor ulterioare.

Problematica referitoare la *stabilirea metodologiilor specifice de caracterizare a sistemelor PV* a stat la baza elaborării unui material publicat în format e-book, la editura Valahia University Press, Târgoviște, 2017, cu denumirea *Monitorizarea și testarea sistemelor fotovoltaice conform standardelor internaționale*.

Bibliografie

- [1] Standard IEC 62124:2004 - Photovoltaic (PV) Stand-alone Systems – Design Verification
- [2] Standard IEC 60904-1 - Photovoltaic devices. Part 1: Measurement of photovoltaic current–voltage characteristics

Activitatea II.3. Dezvoltarea elementelor de interconectare a componentelor în vederea funcționării simulatorului solar

Măsurători de calibrare pe simulatorul solar ORIEL Sol3A, folosind celula de referință PV ORIEL, existente la ICSTM-UVT.

Celulele fotovoltaice de cercetare și de fabricație evoluează rapid, cu noi tehnologii, cum ar fi procesele cu straturi subțiri, joncțiune tandem și celule multi-joncțiune, straturi subțiri organice și celule cu coloranți senzitivi, care necesită o evaluare atentă a performanțelor lor.

Cu ajutorul simulatorului solar **Oriel Sol3A Class AAA** pot fi determinate caracteristicile de funcționare a celulelor fotovoltaice, în conformitate cu condițiile impuse de standardele europene.

Simulatorul Oriel Sol3A (fig. 3.1) folosește la determinarea următorilor parametri: caracteristica I-V a celulelor fotovoltaice, curentul de scurt circuit, I_{sc} , tensiunea în gol V_{oc} , puterea maximă P_{max} , curentul maxim I_{pmax} , tensiunea maximă V_{pmax} , factorul de umplere, FU. Domeniul de utilizare are în vedere testarea performanțelor celulelor solare pentru tensiuni de 0 – 30 V în curent continuu.

Tipurile de aplicații se referă la determinarea caracteristicii curent – tensiune (I-V) și determinarea caracteristicii de putere.

Simulatorul utilizează o singură lampă pentru a satisface criteriile de performanță pentru simularea puterii de ieșire de 1 soare, în conformitate cu condițiile de performanță din clasa AAA în scopul evaluării performanțelor celulelor fotovoltaice. Sistemul ORIEL Sol3A integrează, de asemenea, un dispozitiv de atenuare parțială a luminii pentru a permite variația ușoară a intensității radiației luminoase de la 0,2 – 1,0 soare, prin intermediul unui buton.

Standardul european CEI 60904-1 "Photovoltaic devices. Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics", descrie procedurile de măsurare a caracteristicilor dispozitivelor fotovoltaice, în lumină naturală sau simulată. Specificațiile standardului pot fi aplicate în cazul testării unei singure celule fotovoltaice sau a unui modul fotovoltaic (PV) în scopul determinării caracteristicilor de curent-tensiune ale acestora.

Ansamblul de testare a celulelor solare este alcătuit din următoarele componente: lampă cu arc ultraviolet, sursă de alimentare, masă PV ISO Station.

ORIEL Sol3A folosește un finisaj non-reflectorizant negru, pentru a minimiza lumina reflectată, include șuruburi captive pentru toate panourile care solicită accesul utilizatorului pentru a facilita înlocuirea lămpii, alinierea, și schimbările de filtre, și include un sistem de blocare de siguranță pentru a preveni expunerea accidentală la lumina UV.

Au fost efectuate măsurători pe două celule fotovoltaice: o celulă de referință și o celulă fotovoltaică monocristalină. Caracteristicile I-V obținute sunt prezentate în figura 3.2. Datele tehnice ale celulei măsurate sunt: fabricație: Aiko/Trina/JA/Jinko, Guangdong, China; model: 2BB-M125; material: siliciu monocristalin; putere maximă: 2.8W; tensiune: 0,5V; randament: 16,78% - 18,06%; gama de putere: 2,6 – 2,8W.



Fig. 3.1. Simulatorul solar Oriel Sol3A

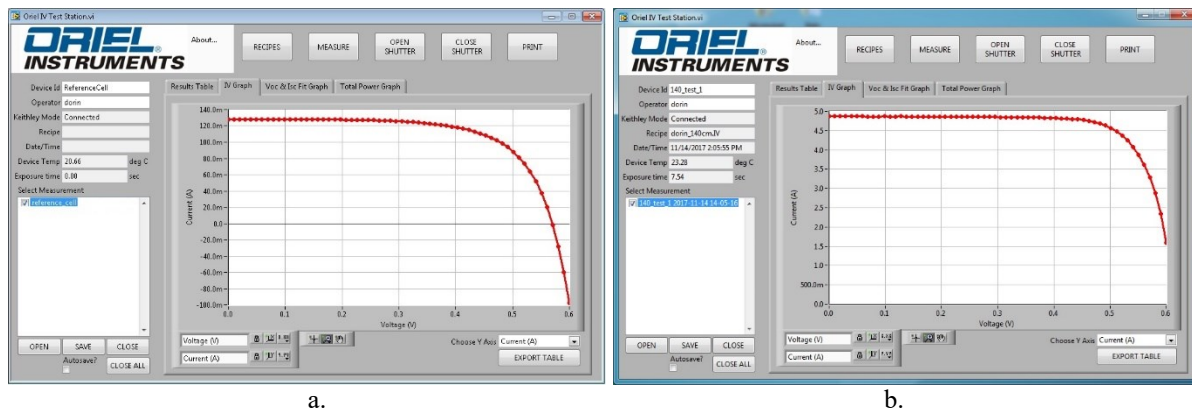


Fig. 3.2. Caracteristicile IV; a. Celula de referință monocristalină, dimensiune: 2 cm x 2 cm; b. Celulă fotovoltaică monocristalină, dimensiune: 12,5 cm x 12,5 cm (5 inch x 5 inch).

Interconectarea funcțională a echipamentelor care compun sistemul de caracterizare in-dor (simulatorul solar) a celulelor și modulelor PV și punerea în funcțiune a sistemului integrat. Caracterizarea, cu scop demonstrativ, a unor celule și module PV.

În cadrul acestei activități, am identificat și interconectat sistemul de caracterizare in-dor a celulelor și modulelor PV Optosolar (fig. 3.3), astfel:

1. Identificarea echipamentelor care compun simulatorul solar. Sistemul este compus din următoarele module principale: calculator pentru achiziție date și măsură (denumit "Measurement PC" – cu codul 87651.4), sursă de tensiune programabilă PS3020 (denumit "PS3020" – cu codul 87651.7), modul de achiziție și testare (denumit "Moduletester Front-Side and Moduletester Back-Side" – cu codul 87651.8), dulap capacități (denumit "Capacitor Cabinet" – cu codul 87651.2), dulap cicuie electronice (denumit "Electronic cabinet" – cu codul 87651.1), modul lampă blitz (denumit "Flashlamp" – cu codul 87651.6), panoul suport de testare a modului fotovoltaic (denumit "Moduleholder" – cu codul 87651.11).

2. Studiul schemelor electrice și verificarea funcționalității componentelor simulatorului solar în vederea identificării și validării principiului de funcționare;
3. Identificarea modului de conectare al mufelor și cablurilor existente în vederea interconectării echipamentelor existente.

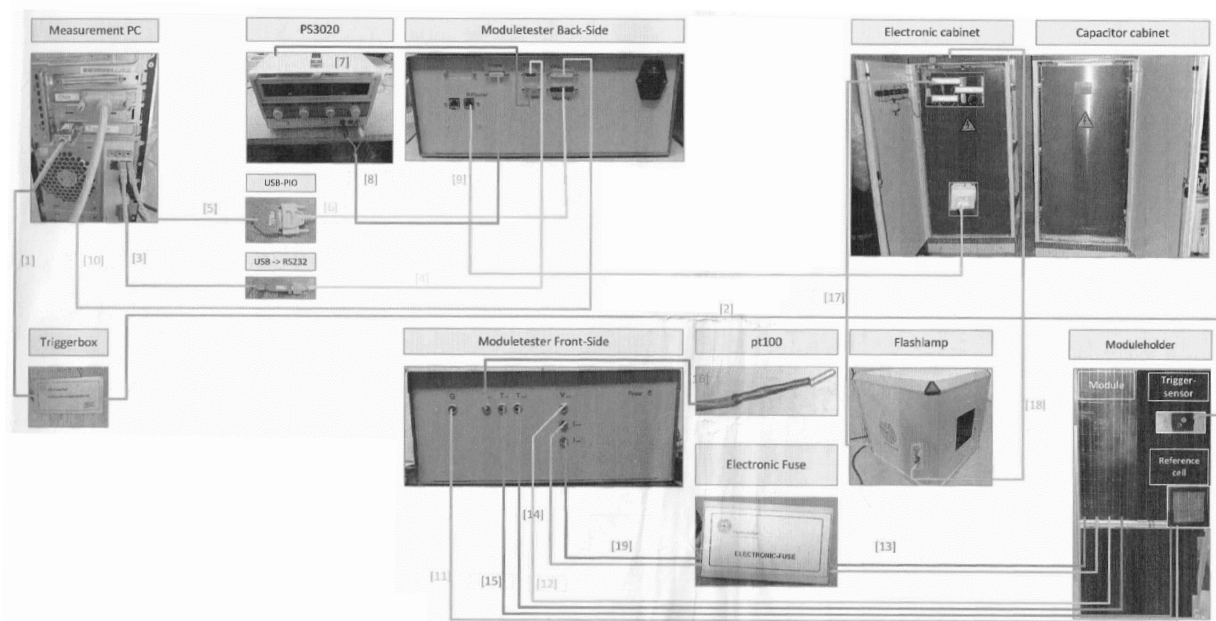


Fig. 3.3. Schema bloc cu modulele și conexiunile sistemului de caracterizare in-dor a celulelor și modulelor PV Optosolar

4. Interconectare hardware a modulelor:

- "Electronic cabinet" cu "Capacitor Cabinet" (87651.1 cu 87651.2)
- "Electronic cabinet" cu "Flashlamp" (87651.1 cu 87651.6) – 2 cabluri (17 și 18)
- "Moduletester Front-Side" cu "Senzor temperatură pt100" (87651.8 cu pt100)
- "Moduletester Front-Side" cu "Module holder" (87651.8 cu 87651.) – 2 cabluri (12 și 14 – V și T)
- "Moduletester Front-Side" cu "Electronic Fuse" (87651.8 cu 87651.9) – 2 cabluri (19 – I)
- "Moduletester Front-Side" cu "Referece Cell" (87651.8 cu RefCell) – 2 cabluri (11 și 15 – G și T)
- "Electronic Fuse" cu "Module holder" (87651.9 cu 87651.11) – 2 cabluri (13)
- "Moduletester Back-Side" cu "PS3020" (87651.8 cu 87651.7) – 2 cabluri (7 și 8)
- "PC" cu "Triggerbox" (87651.4 cu 87651.10) – 1 cablu (1)
- "TriggerSensor" cu "Triggerbox" (87651. cu 87651.10) – 1 cablu (2)
- "Moduletester Back-Side" cu "Electronic cabinet" (87651.8 cu 87651.1) – 1 cablu (9)
- "Moduletester Back-Side" cu "PC" (87651.8 cu 87651.4) – legatura directă (10)
- "Moduletester Back-Side" cu "PC" (87651.8 cu 87651.4) – legatura prin convertorul USB -> RS232 (3)
- "Moduletester Back-Side" cu "PC" (87651.8 cu 87651.4) – legatura prin convertorul USB -> PIO (5 și 6)

La acest pas s-a constatat lipsa următoarelor legături (lipsa cablurilor de conexiune):

- Lipsa cablului 8 pentru legătura dintre "Moduletester Back-Side" cu "PS3020" (87651.8 cu 87651.7) – cablu de alimentare cu doua fire;
- Lipsa cablului 9 pentru legătura dintre "Moduletester Back-Side" cu "Electronic cabinet" (87651.8 cu 87651.1) – cablu de transmisie date / comunicație CAT 5e - RJ 45, cu opt fire;
- Lipsa cablului 17 pentru legătura dintre "Electronic cabinet" cu "Flashlamp" (87651.1 cu 87651.6) – cablu de alimentare și de comandă a lămpii, cu șase fire.
- Lipsa senzorului de temperatură PT100 de pe modulul PV, acesta fiind pe cablul 14;
- Lipsa a doi conectori circulari LEMO FFA tată, unul cu doi pini iar celălalt cu patru pini.

Realizarea conexiunilor lipsă, a fost realizată în cadrul ICSTM-UVT.

5. Pornirea sistemului de testare a panourilor PV (Optosolar module). În cadrul acestui pas, au fost realizate următoarele operații:

- Verificarea funcționării conexiunilor între modulele sistemului.
- Verificarea parametrilor de funcționare, a canalelor de comunicație (pentru modulul A/D).
- Verificarea comunicației sistemului cu controllerul NuDam.
- Configurarea comunicației cu modulul A/D și sau controllerul NuDam

Datorită condițiilor speciale de caracterizare a unor celule și module PV cu sistemul Optosolar, și anume crearea unui spațiu cu caracteristici prezentate în figura 3.4, în aceasta etapă nu s-au putut realiza măsurători demonstrative. În cea ce urmează, sunt prezentate câteva măsurători cu simulatorul solar QuickSun700A, precum și câteva caracteristici ale măsurătorilor.

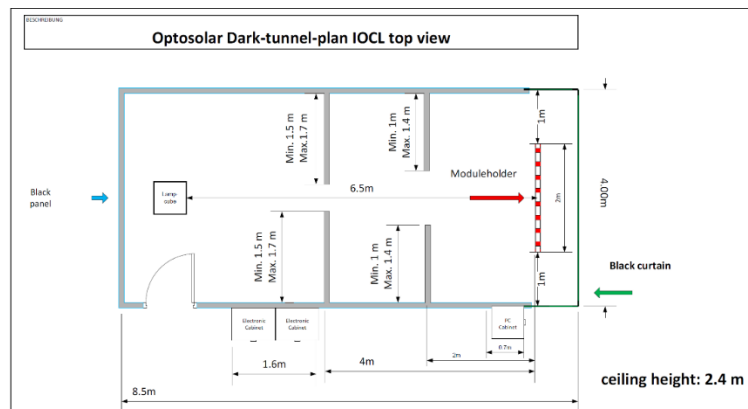


Fig. 3.4. Planul de instalare al sistemului Optosolar.

Măsurători demonstrative a unor module PV

Procedurile de măsurare a modulelor fotovoltaice în lumină simulată au fost aplicate pentru măsurători folosind simulatorul solar existent la Institutul de Cercetare Științifică și Multidisciplinară, Târgoviște, **QuickSun700A**, echipament aflat în dotarea Laboratorului de Prototipare și Testare Module PV (fig. 3.5).

Simulatorul solar pentru module fotovoltaice QuickSun700A este dedicat caracterizării performanțelor modulelor solare. Sistemul este capabil să înregistreze parametrii modulelor fotovoltaice, astfel: eficiența de conversie, caracteristica I-V, curentul de scurt-circuit I_{sc} , tensiunea în gol V_{oc} , puterea maximă P_{max} , curentul maxim I_{pmax} , tensiunea maximă V_{pmax} .

Echipamentul efectuează testările în condiții standard STC (Standard Test Conditions) conform standardului IEC 61215.

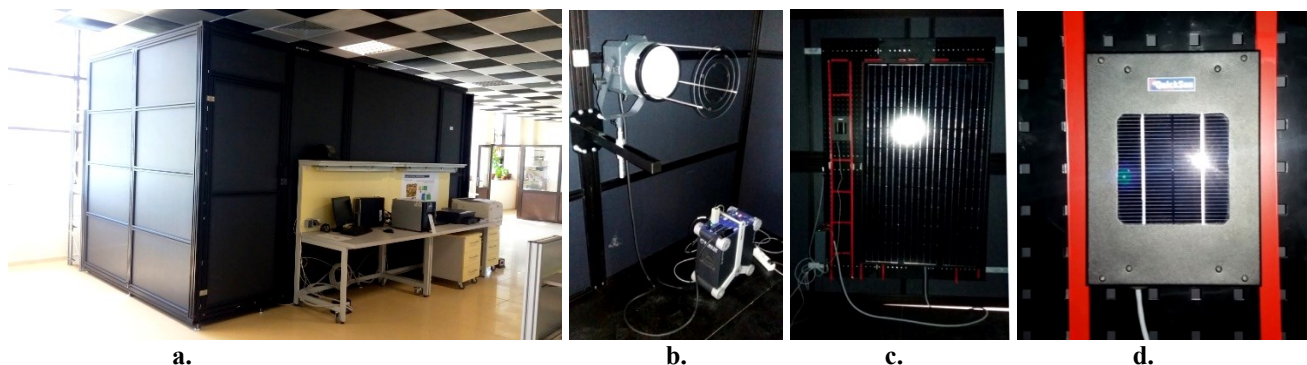


Fig. 3.5. Simulatorul QuickSun700A – elemente componente. **a.** Simulatorul QuickSun **b.** Sursa de lumină; **c.** Panou fotovoltaic conectat la simulator; **d.** Celula ESTI – dispozitiv pentru măsurarea radiației solare

Software-ul QuickSun este folosit ca interfață unică pentru unitatea electronică oferind posibilitatea ca toți parametri indicați de test să poată fi setați de la fereastra software-ul QuickSun (fig. 3.6).

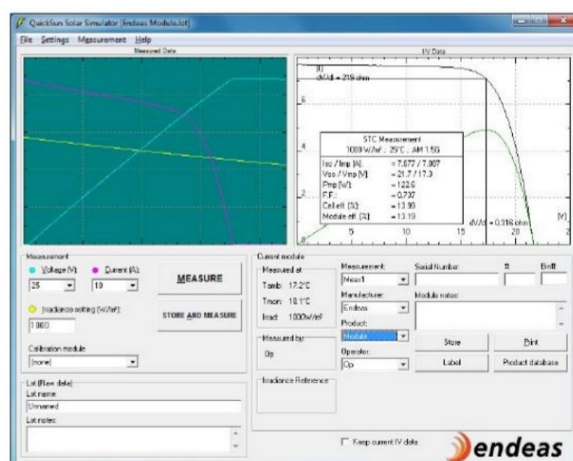


Fig. 3.6. Interfață software Simulator QuickSun 700A

Rezultatele măsurătorilor sunt afișate grafic pe fereastra principală. Cifrele statistice cheie sunt calculate pe baza măsurării semnalelor de curent și de tensiune iar corecțiile de temperatură și de iradiere sunt efectuate automat.

În cazul realizării unui set de măsurători, seria de rezultate poate fi grupată și stocată într-un fișier în vederea unei utilizări ulterioare.

Software-ul QuickSun conține o bază de date în care sunt prezentate informații specifice diferitelor tipuri de module fotovoltaice. Fiecare modul testat este asociat cu un model existent în Baza de Date existentă. Caracteristicile modelului stocat în baza de date a produsului sunt utilizate atunci când sunt necesare corecții ale eficienței modulului PV și ale temperaturii.

Scanarea opțională a codurilor de bare poate fi utilizată pentru citirea numerelor de serie ale fiecărui modul PV. Opțional, cu ajutorul software-ului poate fi tipărită o etichetă specifică modulului testat și care utilizează parametrii mășurați în timpul testului.

Rezultatele măsurătorilor pot fi, de asemenea, transferate într-o bază de date externă SQL iar Software-ul poate fi astfel accesat de la distanță folosind o interfață TCP.

Coefficienții de corecție sunt descriși în standardul IEC891: coeficientul de temperatură al curentului (α): o valoare numerică exprimată în $\mu\text{A}/\text{cm}^2/^\circ\text{C}$; coeficientul de temperatură al tensiunii (β): o valoare numerică exprimată în $\text{mV}/\text{cm}^2/^\circ\text{C}$; factorul de corecție a curbei (K): o valoare numerică exprimată în $\text{m}\Omega/\text{celula}/^\circ\text{C}$, rezistența serie (R_s): o valoare numerică exprimată în $\text{m}\Omega/\text{celulă}$.

Proprietățile fizice ale modulului se exprimă prin: lungimea modulului, exprimată în cm; lățimea modulului exprimată în cm; aria celulei, exprimată în cm^2 ; numărul de celule solare conectate în paralel; numărul de celule solare conectate în serie.

În cadrul măsurătorilor s-au folosit următoarele panouri fotovoltaice:

1. panou solar policristalin, tip **QCELLS Q.PRO-G3 245**.
2. panou solar monocristalin, tip **BAUER BS 6MB12 260**

1. Panoul solar policristalin, tip **QCELLS Q.PRO-G3 245**. Caracteristicile tehnice ale panoului sunt următoarele [1]:

- Puterea nominală: 247,5 W
- Tensiunea la P_{max} : 30,75 V
- Curentul la P_{max} : 8,05 A
- Curentul de scurtcircuit: 8,52 A
- Tensiunea în gol: 37,15 V
- Randamentul: $\geq 14,7\%$
- Tensiunea maximă a sistemului: 1000 V
- Numărul de celule: 60 legate în serie
- Dimensiuni: 167 cm x 100 cm
- Greutate: 19 kg
- Coeficientul de temperatură al curentului de scurtcircuit: $\alpha = + 0,04 \text{ } \%/^\circ\text{K} \equiv 3360 \text{ } \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ pentru întregul panou; valoarea coeficientului de corecție folosită la măsurătoare: $\alpha = 3360/\text{suprafața utilă a panoului} = 3360/14415 \text{ cm}^2 = 0,23 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2/^\circ\text{C}$.
- Coeficientul de temperatură al tensiunii în gol: $\beta = - 0,30 \text{ } \%/^\circ\text{K} = - 111 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pentru întregul panou; valoarea coeficientului de corecție folosită la măsurătoare: $\beta = - 111/\text{nr. celule în serie} = - 111/60 = - 1,85 \text{ mV}/\text{cell}/^\circ\text{C}$.

Datele obținute în urma măsurătorii folosind simulatorul **QuickSun700A** sunt ilustrate în figura 3.7.a. Au fost obținute următoarele valori pentru parametrii specifici ai panoului solar (în condițiile 1000 W/m², 25°C):

- Puterea maximă: 257,81 W
- Tensiunea la P_{max} : 29,21 V
- Curentul la P_{max} : 8,82 A
- Curentul de scurtcircuit: 9,80 A
- Tensiunea în gol: 37,41 V
- Factorul de umplere: 0,70
- Randamentul: 15,44 %.

Erorile relative ale valorilor măsurate față de datele de catalog sunt: - 15% pentru I_{sc} , - 0,7% pentru V_{oc} .

2. Panoul solar monocristalin tip **BAUER BS 6MB12 260**. Caracteristicile tehnice ale panoului sunt următoarele [2]:

- Puterea nominală: 260 W
- Tensiunea la P_{max} : 31,00 V
- Curentul la P_{max} : 8,40 A
- Curentul de scurtcircuit: 8,91 A
- Tensiunea în gol: 37,62 V
- Randamentul: 16,01 %
- Tensiunea maximă a sistemului: 1000 V
- Numărul de celule: 60 legate în serie
- Dimensiuni: 164 cm x 100 cm
- Greutate: 18 kg
- Coeficientul de temperatură al curentului de scurtcircuit: $\alpha = + 0,05 \text{ } \%/^\circ\text{C} \equiv 4630 \text{ } \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ pentru întregul panou; valoarea coeficientului de corecție folosită la măsurătoare: $\alpha = 4630/\text{suprafața utilă a panoului} = 4630/14145 \text{ cm}^2 = 0,32 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2/^\circ\text{C}$.
- Coeficientul de temperatură al tensiunii în gol: $\beta = - 0,35 \text{ } \%/^\circ\text{C} = - 131 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ pentru întregul panou; valoarea coeficientului de corecție folosită la măsurătoare: $\beta = - 131/\text{nr. celule în serie} = - 131/60 = - 2,18 \text{ mV}/\text{cell}/^\circ\text{C}$.

Datele obținute în urma măsurătorii folosind simulatorul **QuickSun700A** sunt ilustrate în figura 3.7.b. Au fost obținute următoarele valori pentru parametrii specifici ai panoului solar (în condițiile 1000 W/m², 25°C):

- Puterea maximă: 260,58 W
- Tensiunea la P_{max} : 29,71 V
- Curentul la P_{max} : 8,77 A
- Curentul de scurtcircuit: 9,16 A

- Tensiunea în gol: 37,07 V
- Factorul de umplere: 0,76
- Randamentul: 15,89 %.

Erorile relative ale valorilor măsurate față de datele de catalog sunt: -2,8% pentru I_{sc} , 1,46 % pentru V_{oc} .

Bibliografie

- [1] Hanwha Q CELLS USA Corp, Polycrystalline solar module, Qcells Q.PRO-G3 245, <https://d1819pwkf4ncw.cloudfront.net/files/documents/hanwha-q-cells-qpro-g3-datasheet-181375.pdf>, accesat Octombrie 2016
- [2] Bauer Solartechnik GmbH, Monocrystalline solar module, <https://www.zonnepanelen.net/nl/pdf/panels/bauer-260-wp-monopaneel-ecoverbruik-3.pdf>, accesat Octombrie 2016

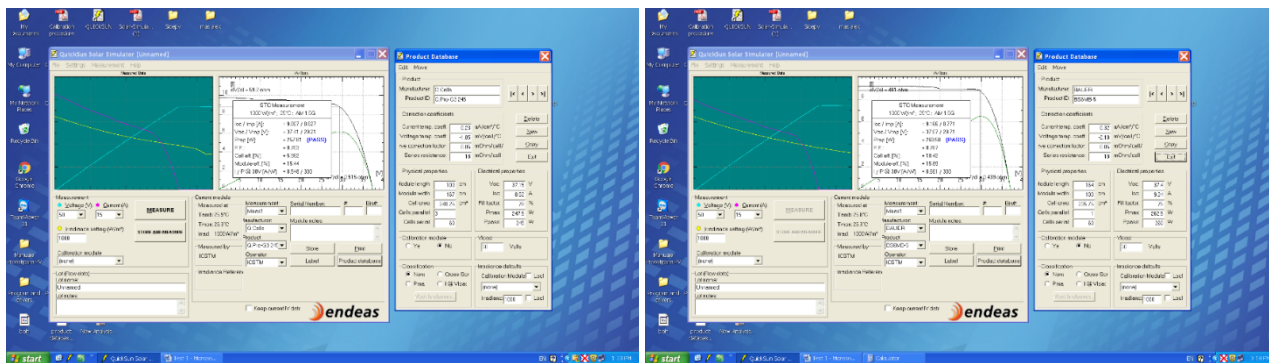


Fig. 3.7. a. Test 1 / 12.09.2017 - Datele obținute cu simulatorul QuickSun700A pentru panoul QCELLS Q.PRO-G3 245;
b. Test 3 / 12.09.2017 - Datele obținute cu simulatorul QuickSun700A pentru panoul BAUER BS 6MB12 260

Tabel rezumativ al măsurătorilor – comparație: ICSTM-UVT -- Catalog

	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_m (A)	V_m (V)	η (%)	FU
Panou QCELLS Q.PRO-G3 245 ICSTM-UVT	9,80	37,41	8,82	29,21	15,44	0,70
Panou QCELLS Q.PRO-G3 245 Catalog	8,52	37,15	8,05	30,75	14,7	0,78
Panou BAUER BS 6MB12 260 ICSTM-UVT	9,16	37,07	8,77	29,71	15,89	0,76
Panou BAUER BS 6MB12 260 Catalog	8,91	37,62	8,40	31,00	16,01	0,77

Integrarea funcțională a sistemului de caracterizare off-dor (caracterograful PVPM 2540C) a modulelor și generatoarelor PV și a sistemului pentru testarea aplicațiilor PV (Green Test FTV 100). Măsurători demonstrative a unor module PV.

Dispozitivele de tip PVPM permit măsurarea curbei I-V (curent-tensiune) a modulelor fotovoltaice, precum și a curbelor I-V pentru șiruri de module. Printr-o nouă procedură dezvoltată, dispozitivul poate măsura și calcula energia de vârf P_{pk} (puterea de vârf este puterea unui modul în condițiile standard de testare (STC) [1]), rezistența serie R_s și rezistența paralel R_p , direct la locul de instalare a sistemului fotovoltaic. Rezultatele de calcul și diagrama pot fi afișate pe afișajul TFT intern.

PVPM este un dispozitiv mobil de măsurare cu baterie integrată și încărcător de baterie într-o carcasă metalică rezistentă (fig. 3.8).

Dispozitivul are propriul PC miniatural, industrial și un afișaj LCD cu contrast ridicat și, prin urmare, funcția sa este independentă de alte dispozitive. Cu toate acestea (dacă se dorește) poate fi atașat un PC pentru transferul de date și în continuare se pot analiza valorile măsurate pe o interfață serială standard.

PVPM funcționează cu ajutorul a câtorva taste funcționale și un meniu accesibil pe ecran. Funcțiile sunt definite printr-o descriere simplă iar utilizatorul este întotdeauna condus de program. Deci, nu sunt necesare activități de formare de lungă durată pentru personalul de operare.

PVPM măsoară automat caracteristica I-V a generatorului fotovoltaic ca o sarcină capacitivă. De la datele achiziționate prin măsurare se calculează caracteristica efectivă a celulelor solare, P_{pk} și R_s [2], [3]. După măsurare datele sunt stocate automat într-o memorie nevolatilă și astfel sunt disponibile ulterior [4]. Dispozitivul intern poate stoca datele a mai mult de 1000 de măsurători.

Se afișează următoarele rezultate:

Valori permanente:

Puterea maximă P_{pk}

Rezistența serie internă R_s

Rezistența paralelă internă R_p .

Valorile actuale, în funcție de iradiere și temperatură:



Fig. 3.8. Dispozitiv de măsurare a puterii maxime și caracteristici I-V pentru modulele PV

Tensiunea la puterea maximă V_{pmax} , curentul la puterea maximă I_{pmax} , puterea maximă P_{max} , tensiunea în circuit deschis V_{oc} , curentul de scurtcircuit I_{sc} , factorul de umplere FF , temperatură modul T_{mod} , radiație solară E_{eff} .

Caracteristica I-V determinată poate fi afișată direct pe afișajul TFT.

Utilizare normală

Puterea maximă și seria PVPM a instrumentului de măsurare caracteristică I-V sunt utilizate exclusiv pentru trasarea curbei caracteristice I-V a modulelor fotovoltaice sau a șirurilor de module. Înainte de conectarea generatorului fotovoltaic, care face obiectul încercării, la instrumentul de măsurare PVPM trebuie să ne asigurăm că eșantionul de testare nu depășește nivelul maxim de curent și de tensiune ale instrumentului de măsurare PVPM în orice moment.

Software-ul de control, programul *PVPM.disp* necesită un PC cu hard disk cu sistem de operare pentru MS Windows® 2000, XP, Vista, 7, 8, 8.1, 10. Conectarea PVPM necesită o interfață serială RS232 gratuită. Asigurați-vă că această interfață nu are conflicte de întrerupere cu alte dispozitive din PC. Dacă nu este disponibilă nici o interfață serială la PC, PVPM poate fi atașat la calculator cu ajutorul unui convertor USB la serial.

Date tehnice

Construcție cu carcasă robustă din aluminiu (IP40), mâner de transport reglabil, placă frontală din folie de plastic durabilă.

Unitatea de măsură și evaluare

- PC clasa industrială, stocare Flash Flash 512 MB (suficient pentru câteva mii de măsurători)
- Nu sunt piese mutate mecanic, cum ar fi discuri fixe, evacuare sau altele similare
- Rata de eșantionare max. 100kHz, rezoluție 12 Bit
- Precizia de măsurare pentru caracteristica I-V mai bună 1%, pentru performanța de vârf $\pm 5\%$
- Conductoarele de măsurare cu patru fire evită erorile sistematice în măsurarea tensiunii
- Perioada de măsurare măsurarea unică 0,02 - 2 secunde (100 de perechi de valori măsurate)
- Senzor de referință pentru iradiere (P_{hox}) cu senzor de temperatură Pt100 / Pt1000 integrat
- Senzor de iradiere calibrat (monocristalin) și senzor integrat de temperatură Pt100
- Măsurarea suplimentară a temperaturii pe suprafața din spate a modului supus încercării
- Pot fi utilizați și alți senzori de referință pentru iradiere disponibil comercial (adică senzor ISET®)

Measuring Range	Voltage dc	Current dc	Temperature	Irradiance
PVPM2540C	25 / 50 / 100 / 250 V	2 / 5 / 10 / 40 A	-40°C - +120°C with Pt1000	0 - 1300 W/m2 (Standard-Sensor)
PVPM1000C	25 / 100 / 500 / 1000 V	2 / 5 / 10 / 20 A		
PVPM1040C	25 / 100 / 500 / 1000 V	2 / 5 / 10 / 40 A		
PVPM1050C	25 / 100 / 500 / 1000 V	2 / 5 / 10 / 50 A		

Intervalele de măsurare pot fi combinate între ele. Instrumentul de măsurare selectează automat un interval de măsurare optim. Dispozitivul trebuie utilizat numai pentru testarea surselor curente limitate în curent (generatoare fotovoltaice)

Afișaj

Ecran tactil TFT luminos cu iluminare din spate cu LED, rezoluție 480 x 272 pixeli, RGB (fig.3.9). Reprezentarea textului colorat pe fundal negru, astfel contrast ridicat.

Operare

Meniu controlat de panoul tactil direct de pe dispozitiv. Operare și analiză alternativ cu MS-Windows® aplicație, comunicare prin USB.

Furnizarea de tensiune

Baterie Li-Ion 8.8Ah / 96.6Wh (funcționare continuă ~ 8h), opțional baterie acid de plumb. 12V / 3.4Ah sau 12V / 7.2Ah. Alimentare externă cu intrare o gamă largă de tensiune 90-264Vac, 47-63Hz, putere 40W. Controler automat de încărcare automată a bateriei cu protecție împotriva supraîncărcării. Afișarea stării de încărcare pe LED-ul de control de pe partea frontală a carcasei. Măsurarea continuă este posibilă în timpul funcționării rețelei.

Dimensiuni

Lățime: 48cm, înălțime: 16cm, adâncime: 35cm, greutate: aproximativ 8,0kg (PVPM2540C).

În continuare sunt prezentate măsurători demonstrative realizate cu caracterograful PVPM 2540C. Au fost considerate diferite condiții de funcționare, cum ar fi umbrirea unor celule ale modului PV sau existența unor rezistențe serie sau paralel, adiționale.

În cadrul măsurătorilor s-au folosit următoarele panouri fotovoltaice:

1. panou solar policristalin, tip **QCELLS Q.PRO-G3 245**.
2. panou solar monocristalin, tip **BAUER BS 6MB15 250**

Bibliografie

- [1] IEC60904-3: STC= Irradiance 1000 W/m2, Spectrum AM=1.5, Cell Temper. 25°C
- [2] Wagner A.: Peak Power and Internal Series Resistance Measurement under Natural Ambient Conditions. –EuroSun Copenhagen 2000
- [3] Bendel C., Wagner A.: Photovoltaic Measurement relevant to the Energy Yield. - WCPEC3 Osaka 2003
- [4] Schulte K.M., Wagner A.: Die Effektive Solarzellenkennlinie. - Anwendung Teillast-Berechnung. Staffelstein. 2002

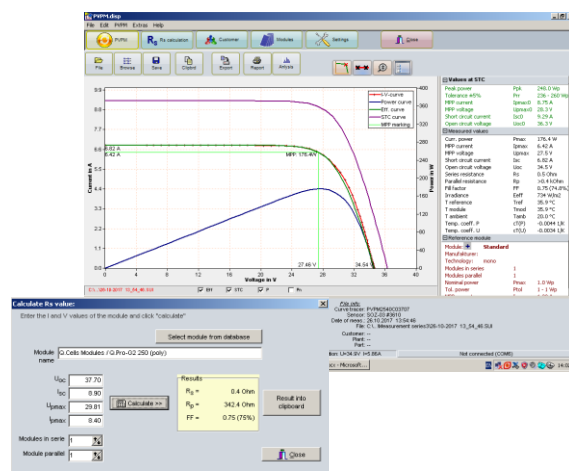
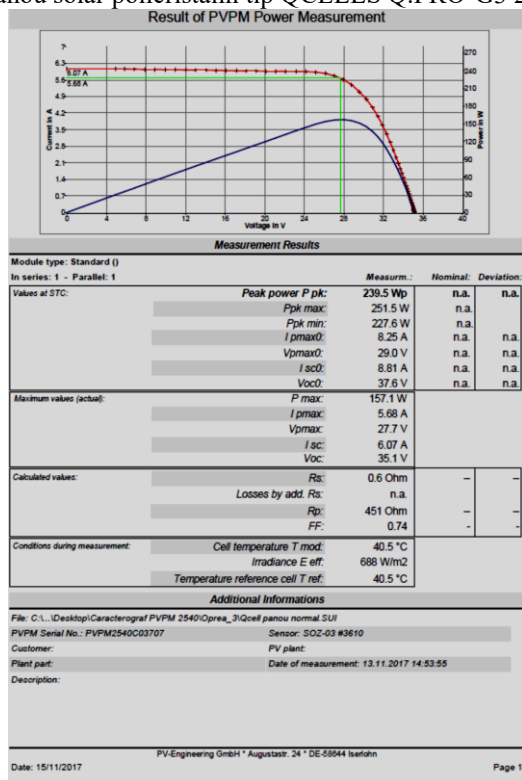


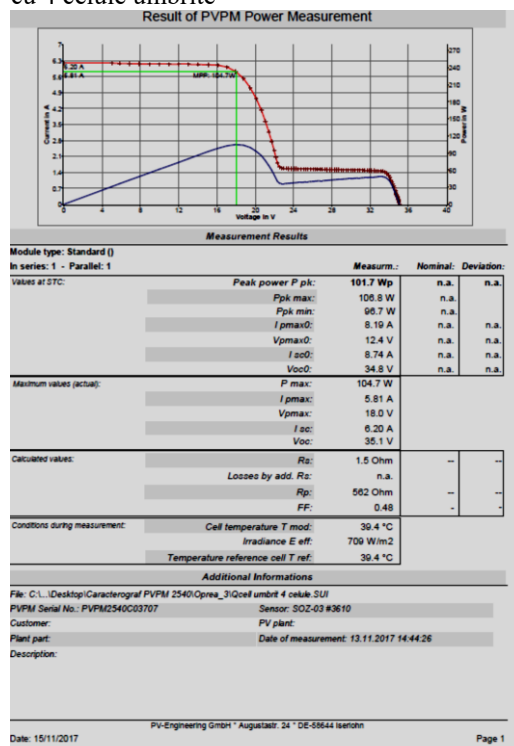
Fig. 3.9. Afișajul ecranului

Măsurători demonstrative cu caracterograful PVPM 2540C. Influența condițiilor de măsurare (funcționare) asupra caracteristicii IV a modulelor PV

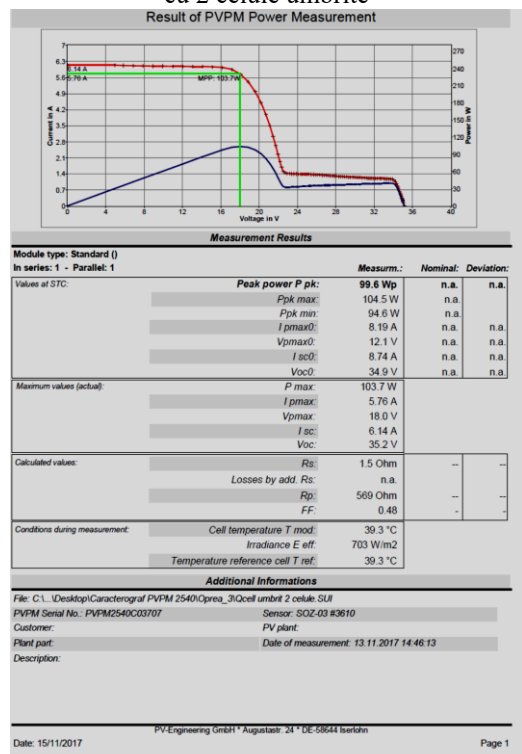
❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245



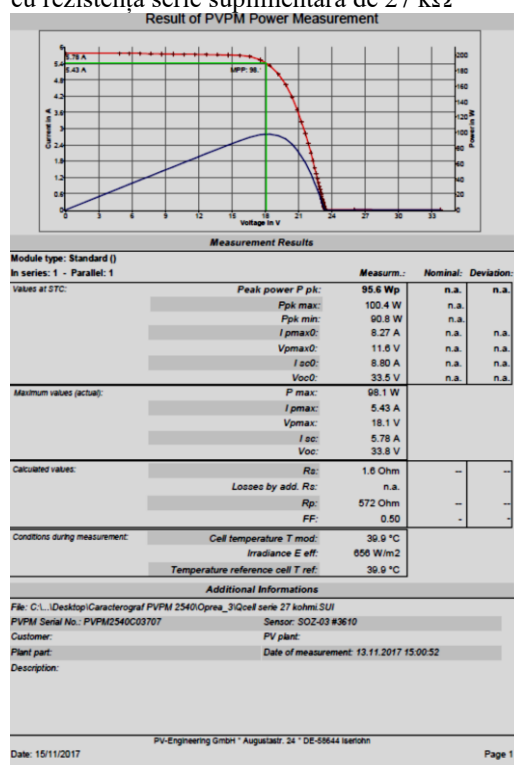
❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245 cu 4 celule umbrite



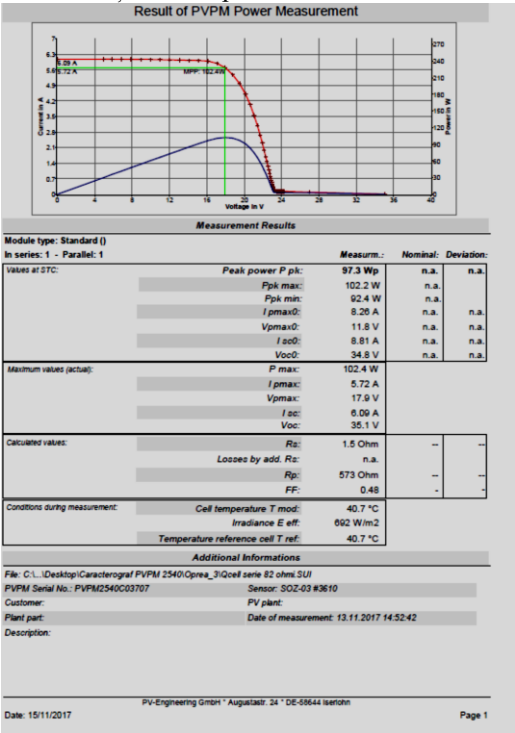
❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245 cu 2 celule umbrite



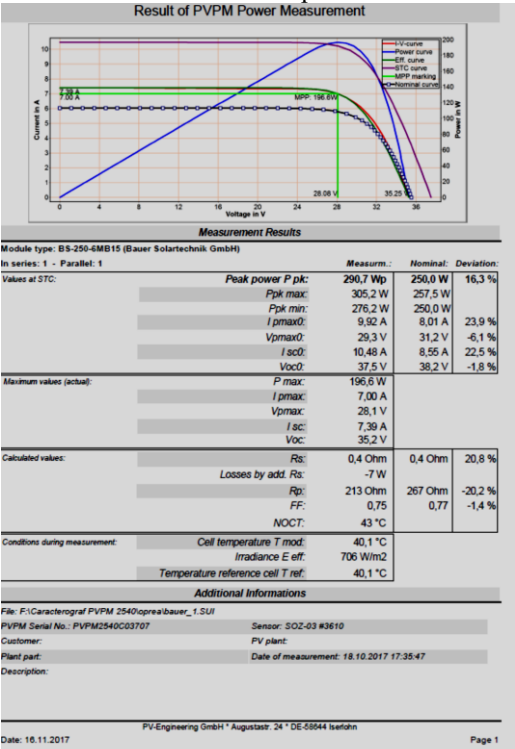
❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245 cu rezistență serie suplimentară de 27 kΩ



❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245 cu rezistență serie suplimentară de 82 Ω



❖ Panou solar monocristalin tip BAUER BS 6MB15 250



Measurement file: F:\Caracterograf PVPM 2540\oprea\bauer_1.SUI
Device serial no.: PVPM2540C03707
Reference sensor: SOZ-03 #3610
Date of measurement: 18.10.2017 17:35:47
Remark:

Comparison module: BS-250-6MB15

Configuration: 1 module(s) in series, 1 module(s) parallel

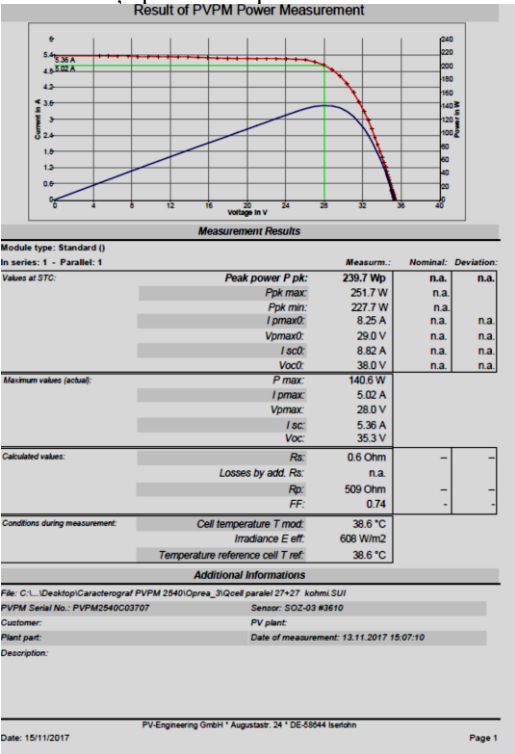
Conditions during measurement:

	Target values:	Description:
Eeff	706W/m2	Irradiance during measurement
Tamb	20,0°C	Ambient temperature during measurement
Tmod	40,1°C	Module temperature during measurement
Tmod exp.	42°C	Expected module temperature
T Sensor	40,1°C	Temperature irradiance reference during measurement
NOCT	43°C	Normal Operating Cell Temperature

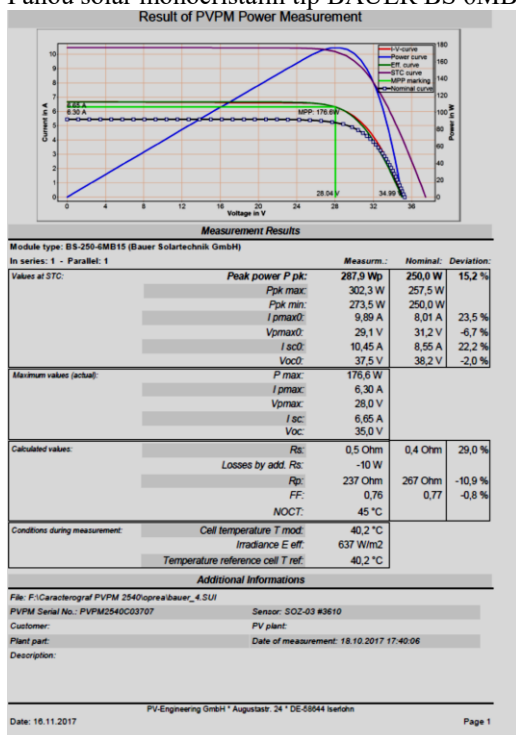
	Target values:	Actual values:	Divergence: %	Description:
Ppk:	250,0Wp	290,7Wp	16,3%	Peak power (STC)
Voc:	38,2V	37,5V	-1,8%	Open circuit voltage (STC)
Isc:	8,55A	10,48A	22,5%	Short circuit current (STC)
Vpmax:	31,2V	29,3V	-6,1%	Voltage at MPP (STC)
Ipmax:	8,01A	9,92A	23,9%	Current at MPP (STC)
Rs:	0,4Ohm	0,4Ohm	20,8%	Internal series resistance
FF:	0,77	0,75	-1,4%	Fill factor
PRs	-	-7W	-	Power loss due to Rs

Quality of curve match:
Medium (Variance: 0,05 standard deviation: 0,21)

❖ Panou solar policristalin tip QCELLS Q.PRO-G3 245 cu rezistență paralelă suplimentară de 27 + 27 kΩ



❖ Panou solar monocristalin tip BAUER BS 6MB15 250



Measurement file: F:\Caracterograf PVPM 2540\oprea\bauer_4.SUI
 Device serial no.: PVPM2540C03707
 Reference sensor: SOZ-03 #3610
 Date of measurement: 18.10.2017 17:40:06
 Remark:

Comparison module: BS-250-6MB15
 Configuration: 1 module(s) in series, 1 module(s) parallel

Conditions during measurement:

Target values:	Description:
E _{eff} 637W/m ²	Irradiance during measurement
T _{amb} 20,0°C	Ambient temperature during measurement
T _{mod} 40,2°C	Module temperature during measurement
T _{mod exp.} 40°C	Expected module temperature
T Sensor 40,2°C	Temperature irradiance reference during measurement
NOCT 45°C	Normal Operating Cell Temperature

Target values:	Actual values:	Divergence: %	Description:
Ppk: 250,0Wp	287,9Wp	15,2%	Peak power (STC)
Voc: 38,2V	37,5V	-2,0%	Open circuit voltage (STC)
Isc: 8,55A	10,45A	22,2%	Short circuit current (STC)
Vpmx: 31,2V	29,1V	-6,7%	Voltage at MPP (STC)
Ipmax: 8,01A	9,89A	23,5%	Current at MPP (STC)
R _s : 0,4Ohm	0,5Ohm	29,0%	Internal series resistance
FF: 0,77	0,76	-0,8%	Fill factor
PRs	-10W	-	Power loss due to R _s

Quality of curve match:

Medium(Variance: 0,03 standard deviation: 0,17)

Green Test FTV 100

Green Test FTV 100 este un instrument de măsurare proiectat și construit pentru a satisface nevoile tehnicienilor în timpul instalării, testării, certificării și întreținerii sistemelor fotovoltaice. Green Test FTV 100 este prevăzut cu:

- trei intrări pentru măsurarea tensiunii (V_{DC}) și curentului (I_{DC}) livrate de generatorul fotovoltaic, ceea ce face posibilă măsurarea a până la trei serii de panouri solare în același timp. În funcție de necesitățile instalării, puteți utiliza o intrare, două sau toate cele trei intrări.
- trei intrări pentru măsurători ale tensiunii AC (V_{AC}) și trei pentru măsurători ale curenților alternativi (I_{AC}), făcând posibile măsurători pe una, două sau trei faze. Conexiunile de tensiune și curent trebuie să fie în fază, pentru a evita achiziționarea de erori.

Măsurătorile disponibile pe Green Test FTV 100 sunt:

- măsurarea radiației solare cu ajutorul piranometrului (până la 2000W/m²);
- măsurarea temperaturii exterioare utilizând o sondă Pt100 (până la 80° C);
- măsurarea temperaturii panourilor solare utilizând sonda Pt100 (până la 120° C);
- calcularea puterii teoretice disponibile;
- măsurarea tensiunii ($1000V_{DC}$), a curentului (clema de curent PAC10-FTV 200A_{DC}, clema de curent PAC20-FTV 1400A_{DC}) și puterea furnizată de panourile solare;
- măsurarea tensiunii ($600V_{AC}$), a curentului (clema de curent MN-FTV 200A_{AC}, clema de curent C107-FTV1000A_{AC}, clema de curent D43-FTV 3000A_{AC}) și puterea de ieșire a invertorului;
- calculul eficienței panourilor solare cu afișarea valorilor și evidențierea rezultatului testului;
- calculul eficienței convertorului de energie DC / AC (invertor) cu afișarea valorilor și evidențierea rezultatului testului;
- memorie utilizată pentru a stoca datele clientului și măsurătorile de sistem.

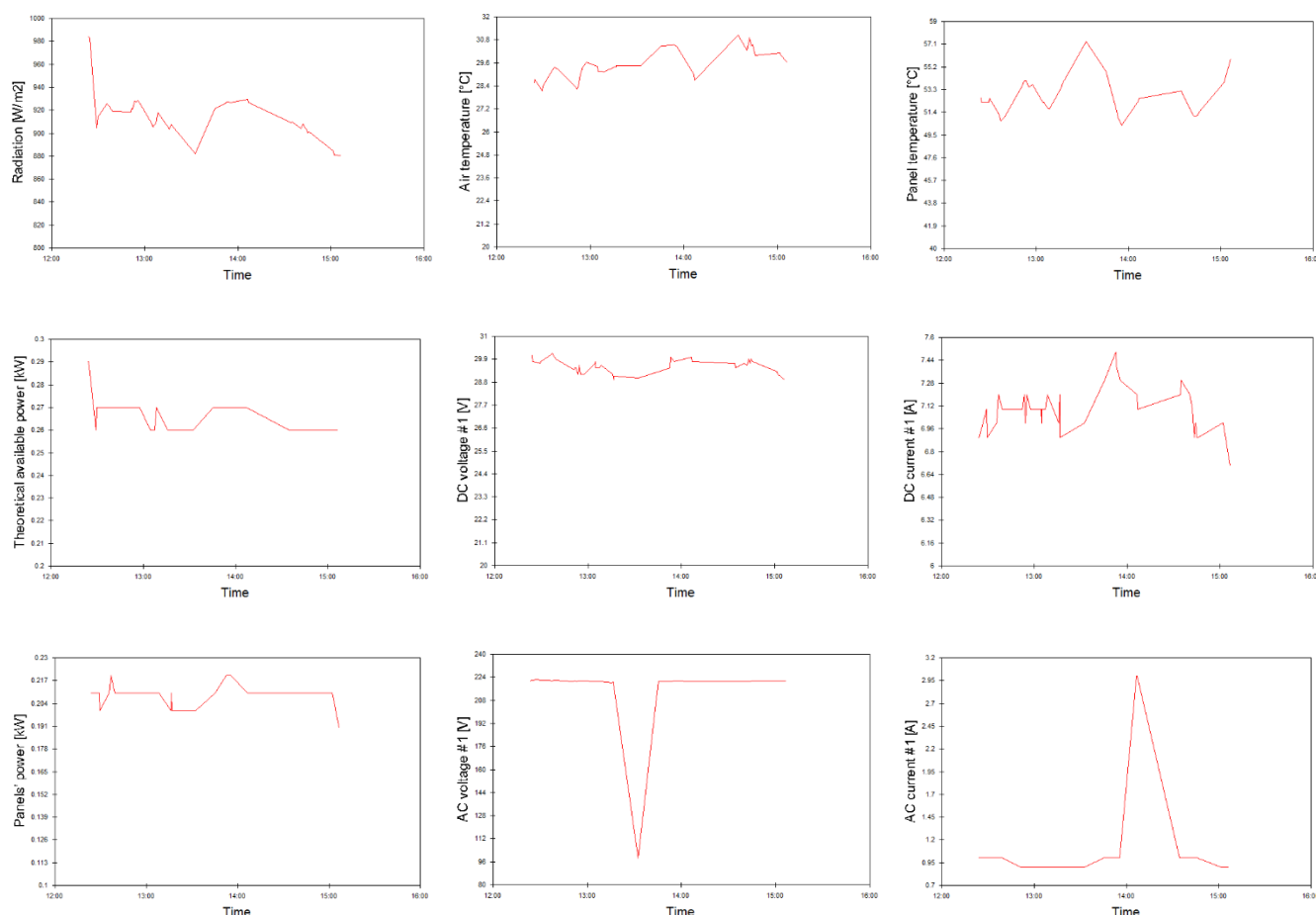
Bornele de intrare / ieșire pe panoul aparatului Green Test FTV 100 au următoarea funcționalitate:

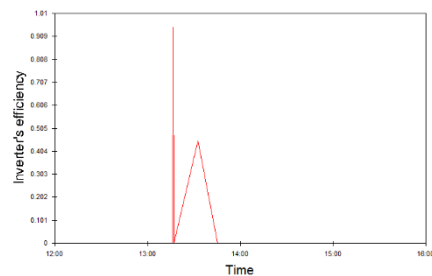
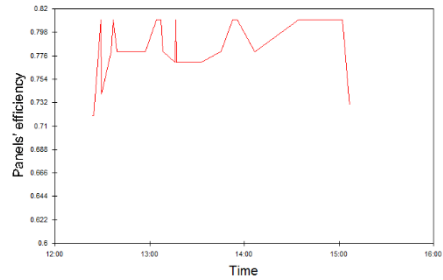
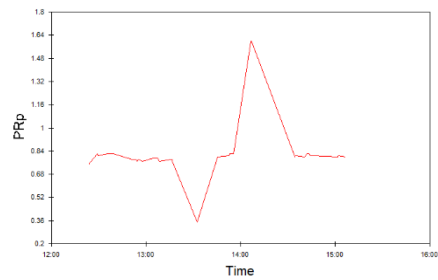
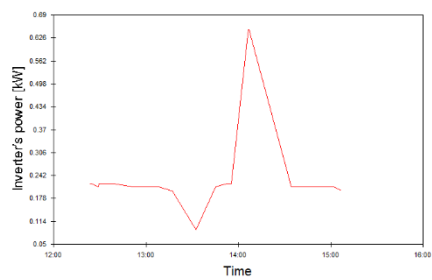
1. intrare 1: clema ampermetru A_{AC}
2. intrare 2: clema ampermetru A_{AC}
3. intrare 3: clema ampermetru A_{AC}
4. intrare 1: clemă ampermetru A_{DC}
5. intrare 2: clemă ampermetru A_{DC}
6. intrare 3: clemă ampermetru A_{DC}
7. intrare 1: tensiune V_{AC}
8. intrare 2: tensiune V_{AC}
9. intrare 3: tensiune V_{AC}
10. intrare 1: tensiune V_{DC}
11. intrare 2: tensiune V_{DC}
12. intrare 3: tensiune V_{DC}
13. intrare temperatură a sondei ambientale
14. intrare piranometru
15. intrare sondă de temperatură a panoului solar
16. port serial USB (la PC)
17. port serial RS232 - unitate de control)
18. tastatura alfanumerică multifuncțională cu următoarele taste: ▲ tasta de navigare "în sus"; ENTER tasta de validare a selecției; ▼ tasta de navigare "în jos"; Butonul On / Off; ESC tasta de ieșire din meniu; DEL cheie de ștergere de intrare
19. intrarea sursei externe de alimentare (15V DC, 2A current maxim consumat)
20. PWR ON / CHARGE FULL (numai atunci când este conectată o sursă de alimentare externă); LED-ul iluminat în timpul reîncărcării bateriilor interne sau când au ajuns la încărcare completă.
21. BAT Ch (numai atunci când este conectată o sursă de alimentare externă); LED-ul iluminat în timpul încărcării baterii.



REZULTATE ȘI MĂSURĂTORI

Testul este destinat să dovedească și să certifice că instalația a fost construită într-o manieră profesională și cu respectarea cerințelor tehnice. Raportul grupează toate informațiile referitoare la locul și condițiile în care a fost efectuat testul. Măsurătorile au fost realizate pe 28.11.2017, în intervalul orar 12.20 ÷ 15.05





Activitatea II.4 Dezvoltarea de aplicații pentru sistemul de caracterizare in-dor și off-dor

Sistemele fotovoltaice de producere a energiei realizate în cadrul acestei activități sunt instalate pe terasa Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară- ICSTM, tronsonul I, pe o suprafața de aproximativ 400 mp (Fig. 4.1).

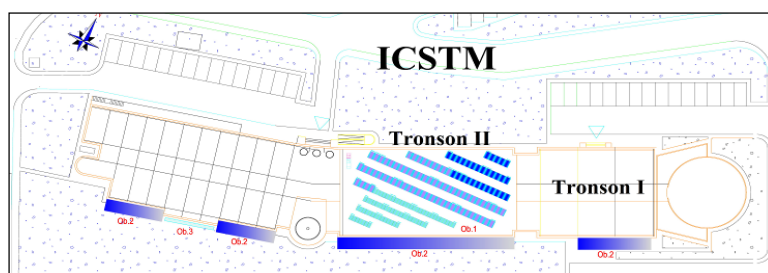


Fig. 4.1. Locația de amplasare a sistemelor fotovoltaice realizate în cadrul activității II.4

Aplicația 1. Solar Tracker

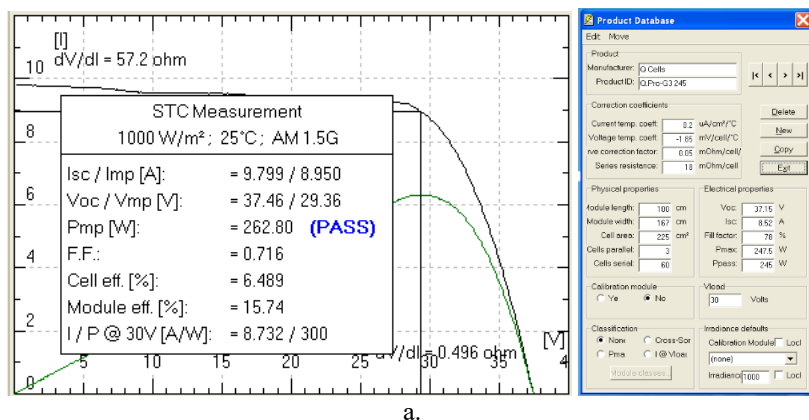
În cadrul primei aplicații din activitatea 4 a fost dezvoltat un sistem de urmărire a soarelui (denumit solar tracker). Ansamblul este format dintr-o structură metalică din fier, un angrenaj de acționare și un panou fotovoltaic. Panoul fotovoltaic este de tip Qcells Q.PRO-G3 245 ($P_{max} = 245$ W, $I_{sc} = 8,72$ A, $V_{oc} = 36,98$ V, $V_{pmax} = 30,75$ V, $I_{pmax} = 7,97$ A) iar angrenajul de acționare este format dintr-un motor de curent continuu de 24V (model GP232004 de la Baldor) prevăzut cu un reductor de turație și două roți dințate (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. Sistemul de urmărire solar cu structura de susținere

Panoul fotovoltaic este conectat prin intermediul unui regulator de tensiune de tip STECA PRS2020 la o baterie Pb-acid de tip NEWMAX SG 12 V-120 Ah. De la această baterie este alimentat un sistem de achiziție a parametrilor de mediu, aflat pe terasa ICSTM (Institutul de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară- ICSTM) și sistemul de control de urmărire a soarelui.

Caracteristicile I-V și P-V ale panoului utilizat în aplicația "Solar Tracker", obținute prin sistemul de caracterizare in-dor QuickSun700A sunt prezentate în figura 4.3.a, iar prin sistemele de caracterizare off-dor caracterograful PVPM 2540C în Fig. 4.3.b.



a.

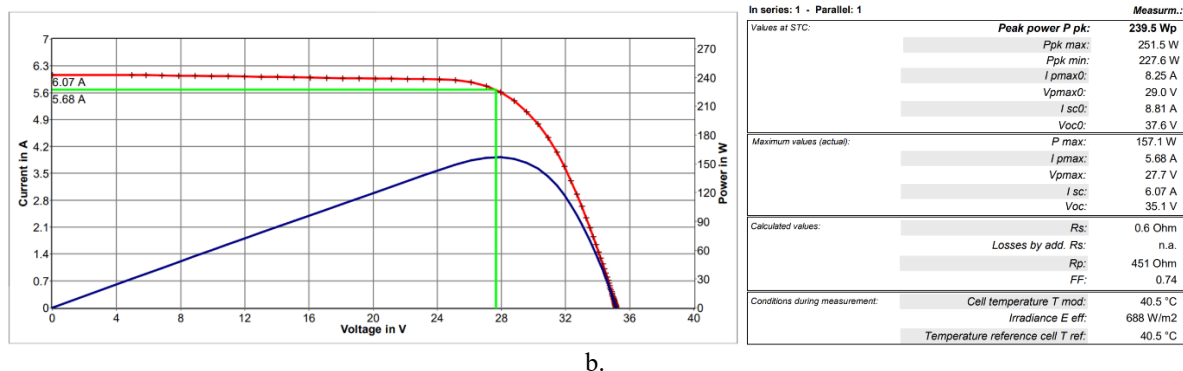


Fig. 4.3. Caracteristicile IV și PV ale panoului Qcells Q.PRO-G3 245; a. cu QuickSun700A; b. cu caracterograful PVPM 2540C.

Aplicația 2. Sistem fotovoltaic "off-grid" 1 PV

În cadrul celei de-a doua aplicații din activitatea 4 a fost dezvoltat un sistem fotovoltaic format dintr-un panou PV, montat pe o structură de susținere metalică din aluminiu, orientat cu suprafața de expunere spre sud. Panoul PV este de tip Bauer BS6MB5 ($P_{max} = 260$ W, $I_{sc} = 9,24$ A, $V_{oc} = 37,40$ V, $V_{pmax} = 30,40$ V, $I_{pmax} = 8,56$ A), fiind conectat la o baterie Pb-acid de tip NEWMAX SG 12 V-120 Ah prin intermediul unui controler de încărcare a bateriei Steca Tarom 245-12V-45A. Pentru furnizarea de energie în cadrul rețelei de energie "off-grid" s-a folosit un invertor de tip PS 12 V-1000 W de la SAMLEX ($P_{ACmax} = 1000$ W, $V_{AC} = 230$ V, $f_{AC} = 50\div 60$ Hz).



Fig. 4.4. Panoul PV ST220 și invertorul din cadrul sistemului hibrid "off-grid" 1PV

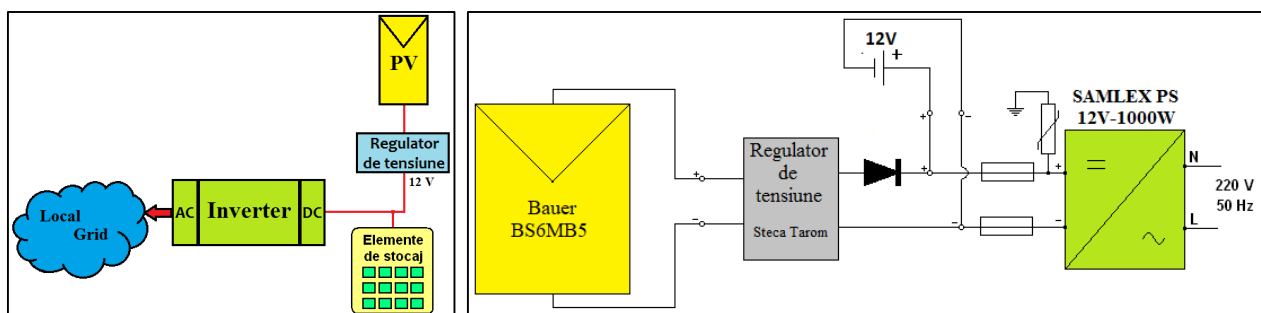
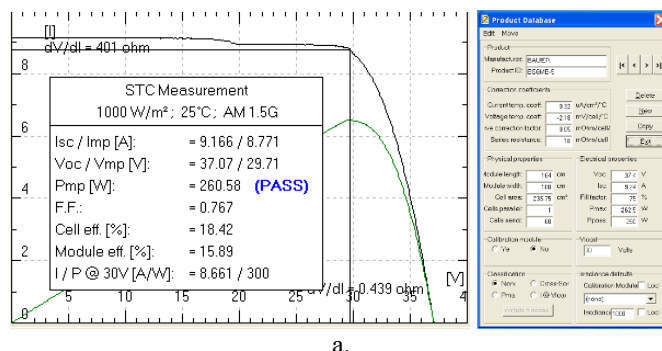
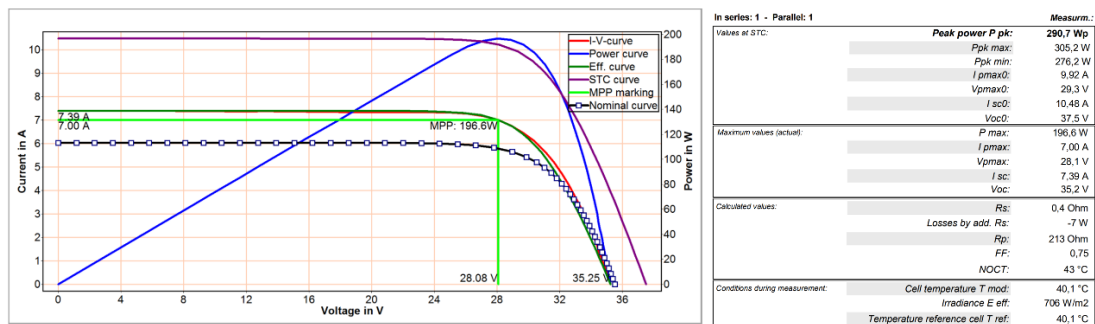


Fig. 4.5. Schema bloc a sistemului fotovoltaic "off-grid" 1PV în faza de proiectare

Caracteristicile I-V și P-V ale panoului Bauer BS6MB5, obținute prin sistemul de caracterizare in-dor *QuickSun700A* sunt prezentate în Fig. 4.6.a, iar prin sistemele de caracterizare off-dor caracterograful *PVPM 2540C* în Fig. 4.6.b.



a.



b.

Fig. 4.6. Caracteristicile IV și PV ale panoului Bauer BS6MB5; a. cu QuickSun700A; b. cu caracterografal PVPM 2540C.

Caracteristici IV și PV ale panourilor Qcells Q.PRO-G3 245 și Bauer BS6MB5, au fost obținute și pe o perioadă de 3 săptămâni în condiții de funcționare ale sistemelor prezentate mai sus. Câteva din aceste caracteristici sunt prezentate în Fig. 4.7.

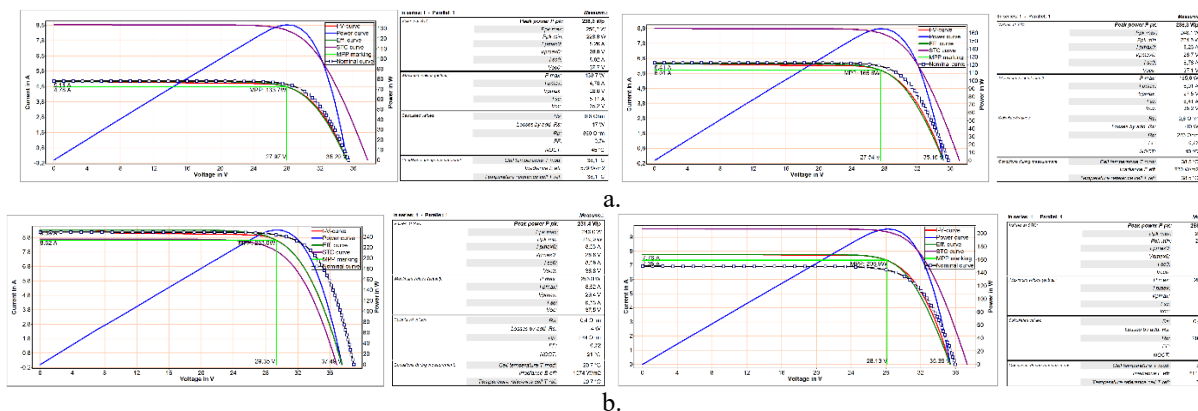


Fig. 4.7. Caracteristici IV și PV în timpul funcționării sistemelor "Solar Tracker" și "Sistem fotovoltaic off-grid 1PV"; a. pentru panoul PV Qcells Q.PRO-G3 245; b. pentru panoul PV Bauer BS6MB5.

Concluzii

Prezentul raport înglobează rezultatele specifice celor patru activități științifice și tehnice finalizate în cadrul proiectului SICEPV, contract 62BG/2016, în cadrul etapei a II-a. Toate activitățile prezentei etape au urmărit obiectivele propuse în planul de realizare al proiectului.

În cadrul *primei activități* au fost descrise principalele componente ale simulatorului solar existent la ICPE-SA: lampa Xenon și sistemul de achiziție de date. Criteriile de lucru folosite au fost: caracteristicile tehnice ale fiecărui element considerat și gradul de adecvare al acestora cu obiectivele de îndeplinit și cu specificitatea locației în care vor fi instalate.

Funcționarea modulelor de achiziție de date a fost testată și validată prin confirmarea legăturilor de comunicație dintre acestea și "PC".

Importanța standardelor în cadrul desfășurării activităților de proiectare, fabricație, testare și comercializare a sistemelor fotovoltaice (PV) a fost de mult recunoscută și promovată. În acest sens, rezultatele *activității a 2-a* prezintă informațiile necesare dezvoltării conceptului de "sistem energetic fotovoltaic" pe parcursul întregului proces, de la producerea tensiunii fotovoltaice până la interfața cu sistemul (sistemele) electric(e) la care este furnizată energia.

Caracterizarea instalațiilor fotovoltaice trebuie să aibă loc conform unui protocol de analiză a datelor și a performanței sistemului PV, adecvat pentru compararea diverselor instalații fotovoltaice.

Pentru monitorizarea sistemelor fotovoltaice este necesară utilizarea unui sistem de achiziție de date bazat pe microprocesoare și fișiere specifice. Sunt recomandate proceduri de monitorizare a caracteristicilor sistemelor fotovoltaice din punct de vedere energetic. Scopul procedurilor este de a evalua performanța sistemelor fotovoltaice configurate ca rețele independente, conectate la rețeaua de utilități sau ca sisteme hibride fotovoltaice/generatoare electrice (sau turbine eoliene).

Condițiile generale de testare a modulelor PV au fost prezentate în conformitate cu prescripțiile standardului IEC 60904-1.

Problematica activității a 2-a a stat la baza elaborării unui material publicat în format e-book, la editura Valahia University Press, Târgoviște, 2017, cu denumirea *Monitorizarea și testarea sistemelor fotovoltaice conform standardelor internaționale*.

În cadrul *activității a 3-a* au fost efectuate măsurători de calibrare (caracteristici I-V) pe simulatorul solar *Oriel Sol3A*, pe două celule fotovoltaice, în conformitate cu condițiile impuse de standardele europene: o celulă de referință și o celulă fotovoltaică monocristalină (putere maximă: 2.8W; tensiune: 0.5V; randament: 16,78% - 18,06%; gama de putere: 2,6 – 2,8W) existente la ICSTM-UVT.

De asemenea, au fost identificate și interconectate echipamentele care compun simulatorul pentru *caracterizarea in-dor* a celulelor și modulelor PV, *Optosolar*, prin: identificarea modulelor, studiul schemelor electrice și verificarea funcționalității componentelor, identificarea modului de conectare al mufelor și cablurilor, interconectare hardware a modulelor (s-a constatat lipsa unor cabluri de conexiune; realizarea conexiunilor lipsă, a fost realizată în cadrul ICSTM-UVT).

Pentru pornirea sistemului Optosolar, au fost realizate verificările: conexiunilor între modulele sistemului; parametrilor de funcționare; canalelor de comunicație (pentru modulul A/D), comunicației sistemului cu controllerul NuDam. A fost configurată comunicația cu modulul A/D și/sau controllerul NuDam.

Datorită condițiilor speciale de caracterizare a modulelor PV cu sistemul Optosolar (crearea unui spațiu cu caracteristici geometrice speciale), în aceasta etapă nu s-au putut realiza măsurători demonstrative cu acest sistem.

În cadrul măsurătorilor demonstrative a unor module PV, au fost efectuate câteva măsurători cu simulatorul solar *QuickSun700A*, existent la Institutul de Cercetare Științifică și Multidisciplinară, Târgoviște.

De asemenea, pentru integrarea funcțională a sistemului de caracterizare off-dor (caracterograful PVPM 2540C) și a sistemului pentru testarea aplicațiilor PV (Green Test FTV 100), au fost efectuate măsurători demonstrative a unor module PV, urmărindu-se influența condițiilor de măsurare (funcționare) asupra caracteristicii IV a modulelor PV.

Sistemele fotovoltaice de producere a energiei realizate în cadrul *activității a 4-a* au fost instalate pe terasa Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară- ICSTM, tronsonul I, pe o suprafața de aproximativ 400 mp.

În cadrul primei aplicații a fost dezvoltat un sistem de urmărire a soarelui. Panoul fotovoltaic este de tip Qcells Q.PRO-G3 245 iar angrenajul de acționare este format dintr-un motor de curent continuu de 24 V (model GP232004, Baldor). Panoul fotovoltaic este conectat prin intermediul unui regulator de tensiune tip STECA PRS2020, la o baterie Pb-acid, tip NEWMAX SG 12 V-120 Ah. De la această baterie este alimentat un sistem de achiziție a parametrilor de mediu, aflat pe terasa ICSTM și sistemul de control de urmărire a soarelui. Sunt prezentate comparativ caracteristicile I-V și P-V obținute prin sistemul de caracterizare in-dor *QuickSun700A* și prin sistemul de caracterizare off-dor caracterograful *PVPM 2540C*.

În cadrul celei de-a doua aplicații a fost dezvoltat un sistem fotovoltaic format dintr-un panou PV, montat pe o structură de susținere metalică din aluminiu, orientat cu suprafața de expunere spre sud. Panoul este de tip Bauer BS6MB5, fiind conectat la o baterie Pb-acid tip NEWMAX SG 12 V-120 Ah, prin intermediul unui controler de încărcare a bateriei Steca Tarom 245-12 V-45 A. Pentru furnizarea de energie în cadrul rețelei de energie "off-grid" am folosit un invertor de tip PS 12 V-1000 W de la SAMLEX.

Caracteristici I-V și P-V ale panourilor Qcells Q.PRO-G3 245 și Bauer BS6MB5, au fost obținute pe o perioadă de 3 săptămâni.

Coordonator,
Universitatea VALAHIA din Târgoviște

Agent Economic
ICPE SA

Rector,
Conf. univ. dr. Călin OROS

Director General,
Dr. Dan-Vergil Racicovschi

Director Proiect,
Conf. dr. ing. Florin DRAGOMIR

Responsabil de proiect
Dr. Viorel Ursu