



**UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE  
ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE  
POLITEHNICA BUCUREȘTI**



**ȘCOALA DOCTORALĂ DE  
INGINERIE ELECTRICĂ**

**TEZĂ DE DOCTORAT**  
**UTILIZAREA SURSELOR REGENERABILE DE**  
**ENERGIE ÎN ZONE CU CLIMAT MARIN**

**Conducător științific:**

**Prof. univ. dr. ing. Mihai Octavian POPESCU**

**Doctorand:**

**Ing. Mihai BĂLĂCEANU**

**BUCUREȘTI**

**2024**

## CUPRINS

<b>Capitolul I Introducere</b>	4
1.1 Zonele cu climat marin și responsabilitatea ecologică	4
1.2 Obiectivele tezei	5
1.3 Structura tezei	6
<b>Capitolul II Utilizarea surselor regenerabile de energie în zone cu climat marin</b>	8
2.1 Energii regenerabile în zone cu climat marin	8
2.2 Celule fotovoltaice și principiu de funcționare	15
2.2.1 Generalități și structură	15
2.2.2 Tipuri de panouri fotovoltaice	21
2.2.3 Sisteme fotovoltaice	22
2.2.4 Irradiația solară	24
2.2.5 Parametrii celulelor fotovoltaice	27
2.2.6 Importanța energiei solare în zonele cu climat marin	29
2.3 Concluzii și contribuții	30
<b>Capitolul III Influența mediului marin asupra sistemelor fotovoltaice</b>	32
3.1 Clima. Variabilitate și predictibilitate	32
3.1.1 Tendințe climatice recente	32
3.1.2 Factori de mediu ce influențează performanța panourilor PV	35
3.1.3 Efecte ale iradiației solare și variabilitatea acesteia	36
3.1.4 Efecte ale temperaturii asupra panourilor PV	38
3.1.5 Tehnici de răcire a panourilor PV	40
3.1.6 Efecte ale umidității asupra eficienței panourilor PV	43
3.1.7 Praful	43
3.2 Analiza vântului	44
3.2.1 Efectele intensității vântului asupra eficienței unui panou PV	44
3.3 Mediul marin – costier și impactul său asupra panourilor PV	45
3.3.1 Coroziune/efectele salinității	45
3.3.2 Efecte ale condițiilor meteorologice asupra panourilor PV	47
3.4 Concluzii și contribuții	48
<b>Capitolul IV Influența factorilor de mediu asupra unui panou fotovoltaic instalat într-un mediu marin-costier</b>	50
4.1 Influența factorilor de mediu asupra unui panou fotovoltaic – simulare PVsyst și LabVIEW	50
4.1.1 Descrierea programului PVsyst	51
4.1.2 Modelul matematic Shockley	53
4.1.3 Viteza vântului în PVsyst	54
4.1.4 Influența factorilor de mediu – simulare PVsyst	55
4.2 Influența factorilor de mediu/model matematic	68
4.2.1 Generalități. Model matematic	68
4.3 Simularea în LabVIEW a unui panou PV cu o putere maximă de 10 Wp	71
4.3.1 Descrierea programului LabVIEW	71

4.3.2 Simulare LabVIEW pentru observarea impactului pe care îl au temperatura mediului ambiant și viteza vântului asupra eficienței unui panou PV	73
4.4 Concluzii și contribuții	79
<b>Capitolul V Analiza rezultatelor experimentale și impactul mediului marin asupra eficienței unui panou pv de 10 Wp amplasat costier</b>	82
5.1 Descrierea standului experimental	82
5.1.1 Elementele componente și caracteristicile standului	82
5.2 Achiziția și analiza datelor experimentale pentru un panou PV de 10 Wp	86
5.2.1 Date achiziționate și corelarea acestora cu datele simulate	86
5.2.2 Analiza datelor pentru o perioadă restrânsă cu eficiență maximă	90
5.3 Influența umidității aerului asupra eficienței standului experimental	93
5.3.1 Descriere stand experimental pentru măsurarea umidității relative și analiza datelor	93
5.4 Concluzii și contribuții	97
<b>Capitolul VI Concluzii și contribuții</b>	98
<b>Bibliografie</b>	103

## 1. Zonele cu climat marin și responsabilitatea ecologică

Pe măsură ce costul energiei convenționale continuă să crească și preocupările legate de mediu se intensifică, există un interes tot mai mare pentru energia regenerabilă. Se crede că energia convențională va mai fi disponibilă pentru doar 50 de ani, ceea ce face esențială găsirea unei surse de energie regenerabilă care să fie sigură și fezabilă pentru a înlocui combustibilii fosili. Energia solară este o alternativă superioară energiei convenționale, deoarece este regenerabilă și produce energie verde care poate fi utilizată direct. Industria maritimă a devenit un lider în creșterea conștientizării problemelor de mediu, fiind motivată de necesitatea stringentă de a diminua emisiile de carbon produse de nave. Acest lucru sugerează că sectorul maritim a recunoscut impactul negativ al activităților sale asupra mediului și a început să ia măsuri pentru a-și reduce contribuția la poluare, în special prin reducerea amprentei de carbon. În această călătorie către sustenabilitate, energia solară a apărut ca o plută de salvare, valorificând energia inepuizabilă a Soarelui pentru a elibera navele și sectorul portuar de dependența lor de combustibili fosili. Progresele tehnologice au făcut energia solară mai accesibilă și foarte des utilizată atât în zonele costiere cât și pe nave mari și ambarcațiuni mici.

Evaluarea fezabilității economice și a rentabilității pe termen lung a implementării energiei PV pe diferite tipuri de nave și zone portuare reprezintă un domeniu de studiu în continuă evoluție. Cercetări suplimentare sunt imperativ necesare pentru a obține o imagine de ansamblu a rentabilității investiției, a cheltuielilor de operare și a posibilelor obstacole economice care ar putea influența utilizarea pe scară largă a acestor tehnologii.

## 2. Energii regenerabile în zone cu climat marin

Încă din cele mai vechi timpuri oamenii s-au stabilit în zone scăldate de apele râurilor, fluviilor, mărilor și oceanelor. Motivele sunt ușor de înțeles, având în vedere faptul că atracția ființei umane către regiunile cu apă a fost profund înrădăcinată în nevoile umane fundamentale. Acest lucru duce la formarea de așezări semnificative de-a lungul cursurilor de apă și pe malurile mărilor și oceanelor lumii. Datele istorice atestă dezvoltarea construcțiilor navale începând cu mileniul al 3-lea î.H., în diferite regiuni ale lumii, înregistrându-se un accent deosebit pe centrele culturale din Marea Mediterană și nordul Europei. Aici, putem aminti de civilizațiile antice precum cea egipteană, mesopotamiană și nu în ultimul rând de populația feniciană, care au jucat un rol semnificativ în dezvoltarea transporturilor maritime.

Ceea ce trebuie reținut când vorbim despre transporturile pe calea apei este avantajul semnificativ reprezentat de cheltuielile de transport, cota de piață și tonele mile.

În ciuda faptului că transportul pe calea apei presupune foarte multe avantaje, acesta reprezintă în aceeași măsură și o sursă majoră de poluare.

Producerea în atmosferă de gaze ce declanșează efectul de seră conduce la schimbări climatice și de mediu. Pentru anul 2020 s-a înregistrat o scădere a dioxidului de carbon eliberat în atmosferă, acest lucru datorându-se pandemiei provocată de virusul SARS COV-2. Viitorul apropiat prevede, totuși o creștere importantă al acestor tipuri de gaze, iar transporturile navale sunt considerate a fi o sursă principală pentru eliberarea în atmosferă a gazelor cu efect de seră; în mod special operațiunile portuare (vehicule care deserveșc zonele portuare precum și diferite instalații portuare echipate cu motoare cu ardere internă) și operarea navelor atât în port cât și în radă, ambele având un rol major în poluarea aerului în sectorul maritim.

Pentru a se putea realiza decarbonizarea industriei transporturilor pe calea apei este evident că este necesară implementarea unor tehnologii cu emisii de carbon cât mai reduse, cu o concentrare deosebită asupra combustibililor alternativi, a surselor de energie regenerabilă și a surselor costiere de alimentare cu energie.

**Sistemul Aquaris Marine Renewable Energy (MRE)** este un sistem integrat de vele rigide, panouri fotovoltaice, module de stocare a energiei și o rețea de computere ce permit

navelor să capteze și să transforme energiile regenerabile (energia solară, energia eoliană) în electricitate. Un software central comandă poziționarea automată a velelor pentru a se potrivi cel mai bine condițiilor meteorologice dominante, iar acestea pot fi apoi coborâte și depozitate în condiții de siguranță atunci când marea nu permite utilizarea lor (vânturi puternice, precipitații abundente)[1]. Acest sistem poate fi utilizat și în timpul când nava staționează (ancoră sau în port).

## 2.1 Celule fotovoltaice și principiu de funcționare

### Benzi de energie

Electronul posedă o sarcină electrică negativă, iar protonul posedă o sarcină electrică pozitivă. Aceste două sarcini electrice sunt egale dar opuse ca semn. Oamenii de știință au măsurat masa și dimensiunea acestor două particule determinând câtă sarcină electrică deține fiecare. Deși masa protonului este de aproximativ 1827 de ori mai mare decât masa electronului, ambele particule dețin aceeași cantitate de sarcină electrică.

Cea de-a treia particulă pe care o întâlnim într-un atom este neutronul. Masa acestuia este aproximativ egală cu cea a protonului, dar este neutru din punct de vedere electric.

Conform teoriei, protonii, neutronii și electronii atomilor sunt aranjați într-un mod similar cu cel al unui sistem solar miniatural. În atomul de heliu din figura 2.1, doi protoni și doi neutroni alcătuiesc nucleul greu cu o sarcină electrică pozitivă în jurul căruia se rotesc doi electroni cu o masă foarte mică. Călea pe care o parcurge fiecare electron în jurul nucleului se numește orbită. Pentru a putea rămâne pe această orbită, electronii trebuie să posede o anumită cantitate de energie ce poartă numele de nivel de energie al electronului. În virtutea poziției și mișcării sale pe orbită, electronul deține energie cinetică și energie potențială.

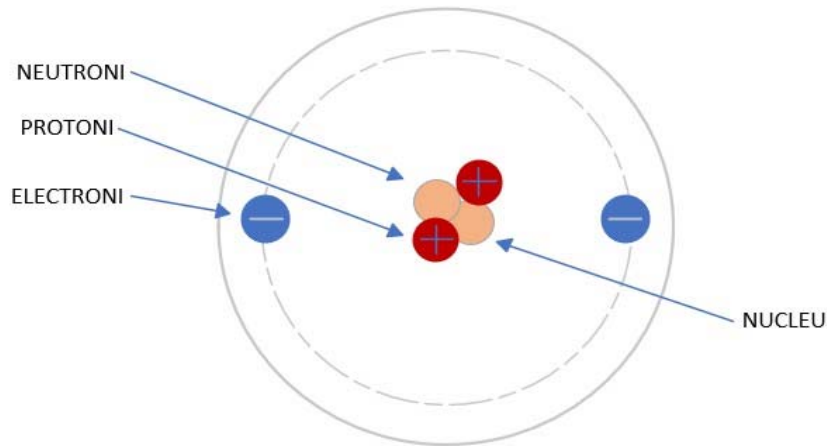


Fig. 2.1 Atomul de heliu

Astfel, energia pe care o posedă un electron (cinetică și potențială) reprezintă factorul esențial care determină raza orbitală a acestuia. Pentru ca un electron să rămână pe orbită nu trebuie să obțină, dar nici să piardă energie. Mai mult, în mișcarea lor pe orbite, electronii nu urmează căi aleatoare ci sunt limitați pe diverse praguri de energie bine definite. Prin urmare, pentru a putea muta un electron de pe un prag energetic inferior (mai apropiat de nucleu) pe un prag energetic superior este necesară o anumită cantitate de energie. Această cantitate de energie poate fi reprezentată de un câmp electric, căldură, lumină și chiar „bombardarea” cu alte particule.

O consecință a apropierii foarte mari dintre atomii ce constituie un material solid este aceea de a dizolva nivelurile individuale de energie ale atomilor și formarea de benzi de energie (figura 2.2). În figura de mai jos se observă diferența dintre nivelurile de energie ale unui atom izolat și cele ale unui atom dintr-un solid. Atomul izolat (gaz) are niveluri de energie, pe când atomul dintr-un material solid posedă benzi de energie.

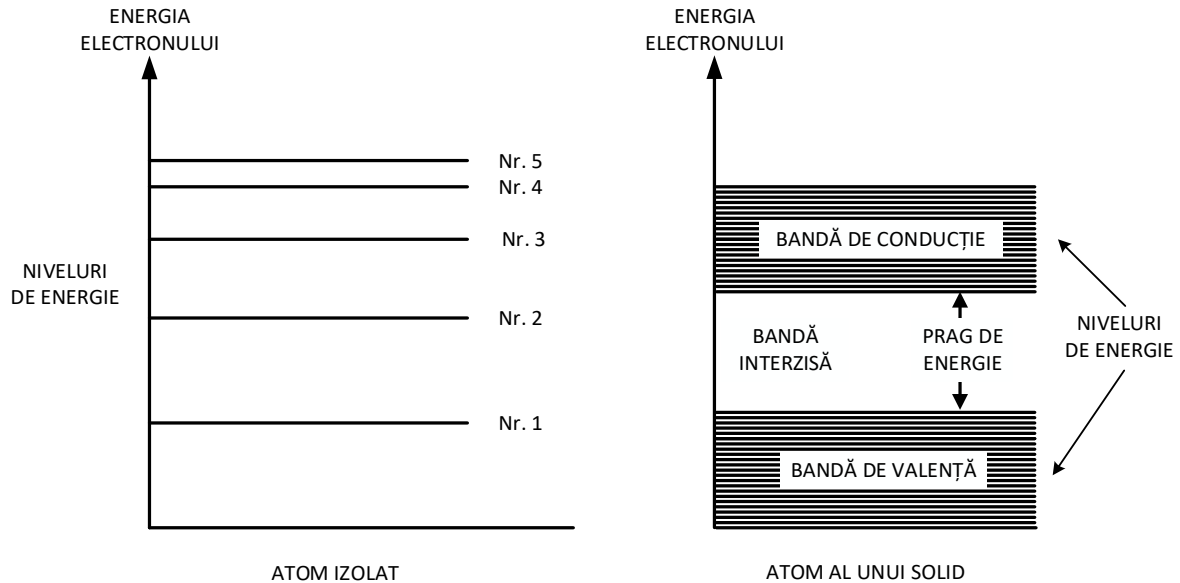


Fig. 2.2 Aranjamente energetice ale atomilor

Electronii situați pe banda de conducție sunt ușor de îndepărtat la aplicarea unui factor exterior (câmp electric, lumină etc.) Materialele ce prezintă un număr mare de electroni pe această bandă sunt bune conducătoare de electricitate. Sub banda de conducție este situată banda interzisă. Pe această bandă nu vor sta niciodată purtători de sarcină electrică. Electronii doar vor tranzita acest sector în funcție de aportul energetic primit. Ultima bandă sau banda de valență este constituită dintr-o serie de niveluri energetice ce conțin electronii de valență. Acești electroni aparțin mai mult atomului în sine, comparativ cu electronii aflați pe banda de conducție. Totuși, electronii benzii de valență se pot muta pe banda de conducție dacă obțin suficientă energie pentru a putea străbate banda interzisă. Grosimea benzii de conducție sau zona de separație dintre banda de valență și cea de conducție determină caracteristica materialului de a fi izolator, semiconductor sau conductor. Astfel, materialele utilizate pentru producerea energiei electrice prin intermediul celulelor fotovoltaice vor fi cele semiconductoare

## 2.2 Importanța energiei solare în zonele cu climat marin

Subiectul energiei solare în domeniul maritim și costier prezintă o importanță semnificativă în zilele noastre. Având în vedere preocuparea tot mai mare pentru conservarea mediului și necesitatea reducerii emisiilor de carbon, găsirea unor surse alternative de energie este esențială. Acest subpunct al tezei tratează rolul energiei solare în transportul maritim și zonele costiere, punctând beneficiile pe care această sursă regenerabilă de energie le aduce, integrarea acesteia în infrastructura portuară, precum și implicațiile viitoare.

### **Beneficiile energiei solare într-un domeniu maritim-costier sustenabil**

Energia solară aduce numeroase beneficii industriei transportului maritim și porturilor. În primul rând, reduce semnificativ emisiile de carbon și impactul pe care acestea îl au asupra mediului prin înlocuirea surselor de energie bazate pe combustibili fosili. Această tranziție către surse de energie mai curate joacă un rol crucial în combaterea schimbărilor climatice. În al doilea rând, energia solară oferă economii de costuri și îmbunătățiri ale eficienței energetice. Permite reducerea dependenței de electricitatea din rețea, ceea ce duce la costuri operaționale mai mici. În cele din urmă, energia solară oferă o independență și o reziliență energetică sporită. Porturile și navele echipate cu sisteme de energie solară beneficiază de o sursă de energie mai fiabilă și mai stabilă, asigurând perioade de operativitate mai îndelungate.

### **Integrarea energiei solare în infrastructura portuară**

Energia solară poate fi integrată fără probleme în diverse aspecte ale infrastructurii portuare. Instalarea panourilor PV pe acoperișuri și structuri de parcare nu doar că generează energie curată, dar optimizează și utilizarea spațiului disponibil. În plus, sistemele de iluminat și navigație alimentate cu energie verde îmbunătățesc siguranța și reduc consumul de energie. De, asemenea utilizarea energiei solare ca sursă de energie electrică pentru echipamentele de la bordul navelor, atât civile, cât și militare asigură un mediu mai sigur și un confort sporit pentru echipajul acestor nave.

## **3. Clima. Variabilitate și predictibilitate**

Înregistrările globale ale temperaturii aerului de la suprafața Pământului din ultimii 150 de ani sunt caracterizate de o tendință de încălzire pe termen lung, cu o variabilitate puternică.

Sistemul climatic, având ca elemente componente atmosfera, oceanele, criosfera, suprafața terestră și biosfera sa, prezintă variabilitate pe o multitudine de scale de timp. Unele dintre aceste scale de timp, cum ar fi variabilitatea zilnică și sezonieră, sunt direct legate de procese externe sistemului climatic, cum ar fi variațiile de irradiație solară[2]. Aceste procese externe sunt considerate a fi o presiune asupra sistemului climatic, generând o variabilitate forțată. Totuși, variabilitatea apare și prin procese interne sistemului climatic, în acest caz ea poartă numele de variabilitate climatică internă sau intrinsecă. Variabilitatea climatică este cauzată și de emisiile de gaze cu efect de seră și aerosoli datorate activităților umane. Această variabilitate este denumită variabilitate climatică antropogenă sau, pur și simplu, schimbări climatice.

Un alt aspect al încălzirii globale este reprezentat de faptul că multe comunități sărace și marginalizate suferă cel mai mult din cauza căldurii extreme, fie că nu au acces la mijloace de răcire, fie că sunt mai predispuse să lucreze în munca manuală, sau pentru că locuiesc în cele mai dense și mai fierbinți părți ale orașelor lumii. Țările sărace au, de asemenea, cele mai puține resurse pentru a adapta orașele, infrastructura și sistemele alimentare pentru a fi mai rezistente la temperaturile extreme.

După ce omenirea a fost martoră la impactul pe care l-a avut cel mai fierbinte an de până acum, abordarea temperaturilor extreme și a efectelor sale trebuie să fie o prioritate pentru viitorul apropiat. Orașele trebuie să fie în avangardă, fie că se plantează mii de copaci ca în Medellin, Columbia; vopsesc acoperișurile în alb ca în Ahmedabad, India sau reimaginează planificarea urbană ca în Singapore. Guvernele locale sunt în poziția în care trebuie să conceapă soluții pragmatice care să poată răcori orașele și proteja viețile a peste jumătate din populația lumii[3].



### 3.1 Mediul marin – costier și impactul său asupra panourilor PV

Utilizarea și implementarea surselor regenerabile de energie câștigă rapid teren în toate scenariile, cu energia solară în centrul acestei noi constelații de tehnologii de generare a electricității[4]. Energia solară poate genera căldură și electricitate, dând naștere la două tehnologii: puterea solară termică, care colectează și transformă lumina solară în căldură și apoi adesea în electricitate; și tehnologia fotovoltaică (PV) care convertește direct lumina solară în electricitate.

Nu doar eficiența instalațiilor (și prin urmare – prețul electricității) ci și fiabilitatea acestora pot fi compromise de anumite defecte ale materialelor datorate degradării asistate de mediu. Ambele tehnologii utilizează dispozitive electronice, pentru care coroziunea este o problemă importantă comună și altor sectoare.

Cea mai frecventă problemă de coroziune la panourile PV este coroziunea atmosferică a componentelor metalice ale sistemului de montare (aluminiu, oțel, oțel inoxidabil etc.). Efectele climei, poluării atmosferice, spray-ului marin (Fig. 3.1) nu pot fi neglijate, deoarece pot duce la degradări semnificative chiar și după un an de la expunere.



Fig. 3.1 Depuneri de sare pe suprafața panourilor PV/climat marin[5]

Modulele PV sunt adesea considerate cele mai fiabile din punct de vedere al protecției lor la coroziune datorită încapsulării. Cu toate acestea, coroziunea rămâne una dintre principalele cauze pentru distrugerea barelor colectoare confecționate de obicei din cupru, aluminiu, argint; contactelor metalice (molibden, aluminiu, cupru).

Complexitatea mecanismelor de coroziune în celulele PV rezultă din structura complexă pe care acestea o posedă. În cazul delaminării, o zonă confinată poate apărea între straturile unei celule PV care s-au desprins parțial sau complet unul de celălalt. Această zonă poate capta umezeală, aer și alte substanțe creând micro-medii unde procesele de coroziune și degradare se pot accelera. Delaminarea poate apărea din cauza defectelor de fabricație, expunerii la temperaturi extreme sau uzurii în timp, afectând performanța și durabilitatea modulelor PV. Înțelegerea mecanismelor ce declanșează cinetica degradării ajută la concentrarea pe cei mai importanți factori pentru producerea de module și sisteme stabile pe termen lung.

Mediul maritim – costier presupune o salinitate ridicată și curenți de aer care conduc în mod evident la depuneri de sare pe suprafața panourilor PV ce acționează ca un ecran, reducând astfel transparența și fluxul de irradiație ce ajunge la celulele PV. Studiile arată că acest strat de



sare poate scădea eficiența sistemului PV cu până la 20-30 de procente. Depunerile sunt influențate de gradul de umiditate al maselor de aer, frecvența și amplitudinea spray-ului salin, dar și de capacitatea sistemului PV de a se curăța în mod natural sau prin procese artificiale. Efectele cumulate ale depunerii de sare și coroziunii duc la defecțiuni frecvente rezultând costuri de întreținere suplimentare. În absența unui plan adecvat de mentenanță și protecție la mediul marin, panourile PV din zonele costiere prezintă pierderi de performanță semnificative pe termen mediu și lung.

#### **4. Influența factorilor de mediu asupra unui panou fotovoltaic – simulare PVsyst și LabVIEW**

Alegerea de a studia efectele factorilor de mediu asupra panourilor PV în zonele cu climat marin este determinată de o convergență a considerațiilor practice, tehnologice și de mediu. Relevanța și alegerea acestei teme sunt subliniate de mai multe motivații cheie:

- Energia solară se evidențiază ca o componentă esențială a tranziției globale către energii regenerabile. Regiunile costiere, cu expunerea lor abundentă la soare, reprezintă o oportunitate semnificativă pentru instalarea panourilor PV. Cu toate acestea, maximizarea eficienței lor în aceste zone necesită o înțelegere profundă a modului în care factorii de mediu specifici zonelor costiere influențează eficiența acestora;

- Condițiile de mediu unice din aceste regiuni costiere: umiditatea ridicată, spray-ul de sare, vânturile puternice și nivelurile ridicate de coroziune reprezintă provocări semnificative pentru durata de viață și randamentul panourilor PV;

- Tranziția către surse de energie regenerabilă este foarte importantă pentru reducerea amprentei de carbon și combaterea sau măcar încetinirea schimbărilor climatice, iar panourile PV reprezintă o soluție promițătoare pentru a duce la îndeplinire acest scop. Înțelegerea și depășirea provocărilor de mediu din aceste regiuni vor permite o utilizare mai fiabilă și mai răspândită a energiei solare, contribuind la un viitor energetic sustenabil;

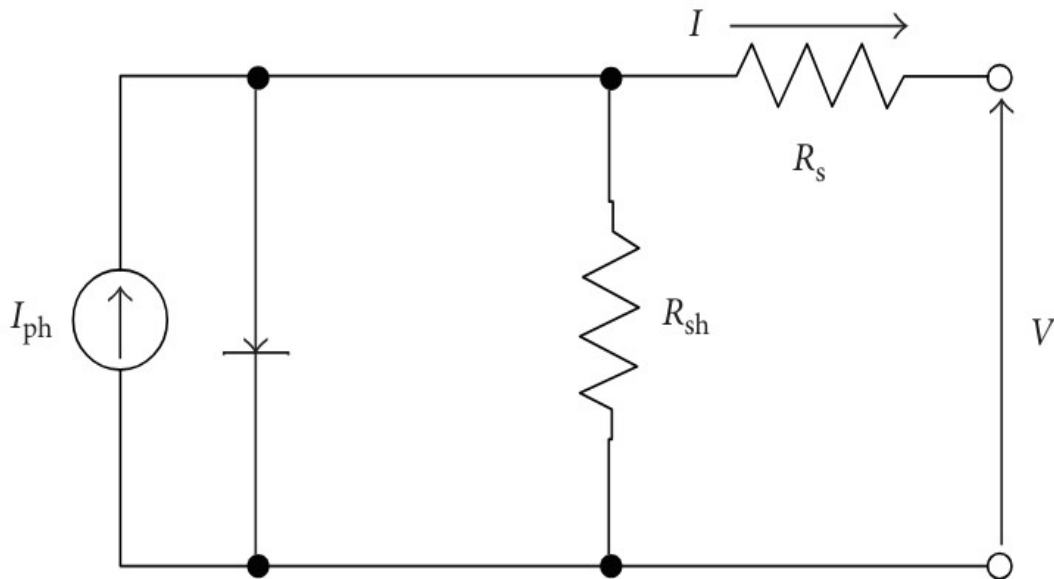
- Progresele în reziliența și eficiența tehnologiei PV pot reduce costurile și pot îmbunătăți viabilitatea economică a proiectelor din acest domeniu vast. Acest aspect este deosebit de important în zonele costiere unde condițiile dure de mediu pot genera costuri de întreținere mai ridicate și eficiență redusă;

- Regiunile costiere sunt locuite de o parte semnificativă a populației mondiale și sunt adesea zone cu activitate economică intensă. Îmbunătățirea performanței sistemelor PV în aceste zone pot avea beneficii larg răspândite, de la independența energetică locală la beneficii globale de mediu prin reducerea amprentei de carbon.

Studiul efectelor factorilor de mediu asupra panourilor PV ce operează în mediul maritim-costier nu este doar o provocare tehnică, ci și un pas important pentru atingerea unor obiective mai mari de sustenabilitate.

##### **4.1 Modelul matematic Shockley**

Acest soft utilizează modele matematice detaliate pentru a simula eficiența și performanța sistemelor fotovoltaice. În acest subcapitol este prezentat modelul matematic Shockley[6], model folosit de soft-ul în care se realizează simularea.



**Fig. 4.1** Schema circuitului echivalent (cu o singură diodă) utilizat de soft-ul PVsyst[7]

La o anumită iluminare, relația curent-tensiune este dată de relația (4.1):

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[ e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{N_{cs} \cdot \gamma \cdot K_B \cdot T}} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (4.1)$$

unde:

I - curentul generat de modul [A];

V - tensiunea la bornele modului [V];

$I_{ph}$  - fotocurent [A], proporțional cu iradierea G, și o corecție în funcție de T;

$I_0$  - curentul de saturație inversă, depinde de temperatură [A];

$R_s$  - rezistența în serie [ohm];

$R_{sh}$  - rezistența de șunt [ohm];

q - sarcina electronului -  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Coulomb;

$K_B$  - constanta lui Boltzmann -  $1.381 \cdot 10^{-23}$  J/K;

$\gamma$  - factorul de calitate al diodei, de obicei între 1 și 2;

$N_{cs}$  - numărul de celule în serie;

T - temperatura efectivă a celulelor [K].

Parametrii din ecuația (4.1) corespund caracteristicilor intrinseci ale construcției unei celule solare. Rezistența de serie  $R_s$  reprezintă rezistența totală a celulei și este o combinație a tuturor rezistențelor interne ale acesteia. Rezistența de șunt  $R_{sh}$ , reprezintă căile alternative prin care curentul pot devia de la joncțiunea PN, acest lucru ducând la pierderi de curent.

Scăderea rezistenței  $R_s$  va conduce la o creștere a curentului de scurtcircuit și a tensiunii maxime, iar creșterea rezistenței de șunt  $R_{sh}$  face ca tensiunea de circuit deschis și curentul maxim să crească[8].

## 4.2. Influența factorilor de mediu – simulare PVsyst

Tabelul nr. 4.1 Parametrii locației

Țara	România
Oraș	Constanța Academia Navală „Mircea cel Bătrân”
Latitudine	44.18 °N
Longitudine	28.61 °E
Altitudine	71 m
Date meteo	Meteonorm 8.1 (PVsyst)

Geographical site parameters, new site

Geographical Coordinates Monthly meteo Interactive Map

Site **I.C. Brătianu (Romania)**

Data source Meteonorm 8.1 (1991-2006)

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m <sup>2</sup> /mth	kWh/m <sup>2</sup> /mth	°C	m/s	[-]	%
January	43.5	24.0	0.8	3.70	3.012	83.1
February	68.9	33.7	2.2	3.60	3.359	82.3
March	101.0	54.9	6.3	3.50	3.738	74.9
April	144.1	70.2	10.7	3.10	4.310	73.9
May	190.1	86.0	16.8	2.90	3.790	72.7
June	211.5	80.6	21.2	2.81	3.606	70.4
July	213.3	75.8	24.0	2.69	3.632	65.7
August	180.3	69.9	24.1	2.69	3.691	65.6
September	132.6	48.9	18.8	3.00	3.606	70.8
October	85.1	42.1	13.2	3.10	3.372	78.1
November	47.2	27.4	8.4	3.10	3.203	83.2
December	37.3	23.7	3.0	3.49	3.048	82.2
<b>Year</b>	<b>1454.9</b>	<b>637.3</b>	<b>12.4</b>	<b>3.1</b>	<b>3.531</b>	<b>75.2</b>

Global horizontal irradiation year-to-year variability 4.7%

Fig. 4.2 Tabel date meteorologice - PVsyst pentru locația selectată[9]

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	CSI Solar	Manufacturer	Generic
Model	CS6A - 230MS	Model	3 kWac inverter
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	230 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	84 units	Number of inverters	6 units
Nominal (STC)	19.32 kWp	Total power	18.0 kWac
Modules	6 Strings x 14 In series	Operating voltage	125-440 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.07
Pmpp	17.43 kWp		
U mpp	320 V		
I mpp	54 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	19 kWp	Total power	18 kWac
Total	84 modules	Number of inverters	6 units
Module area	109 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.07
Cell area	98.5 m <sup>2</sup>		

**Fig. 4.3** Caracteristici ale sistemului PV

Modulul fotovoltaic cu care s-a realizat simularea este un modul CSI Solar. Este format din 6 șiruri a câte 14 module în serie, cu un unghi de înclinare de 45° și o suprafață totală de 109 m<sup>2</sup>.

Pentru acest modul au fost analizate următoarele date rezultate în urma simulărilor: raportul de performanță „PR” al modulului, energia maximă virtuală generată și pierderile datorate temperaturii.

Raportul de performanță PR (Performance ratio), indică eficiența colectorului PV fără a lua în calcul efectul parametrilor externi. este definit ca raportul dintre puterea produsă măsurată și puterea nominală determinată din caracteristicile electrice ale celulei sau colectorului la STC (Standard Test Conditions)[10].

Ecuția PR poate fi scrisă după cum urmează[10]:

$$PR = \frac{P_{mas}}{P_m} \cdot \frac{G}{1000} \quad (4.2)$$

unde  $P_m$  este puterea dezvoltată de colectorul PV la punctul maxim de funcționare, iar  $P_{mas}$  este puterea dezvoltată de colector la intensitatea  $G$  a irradiației solare.

Rezultatele finale ale simulării au fost selectate din raportul generat de PVsyst și au fost alese cu scopul de a evidenția foarte clar cantitatea de energie solară captată și transformată în energie electrică, dar și pierderile pe care le întâlnim în funcție de parametrii analizați.

Datele analizate pentru studiul celor trei factori de mediu la care face referire acest subcapitol au fost obținute prin simulări repetate utilizând varianta free, 7.3.1, a soft-ului PVsyst. În prima simulare – standard – au fost folosite valorile presetate ale parametrilor din baza de date a programului și s-au obținut valorile din tabelul următor:

Tabelul nr. 4.2 Rezultatele simulării

Parametru	Valoare medie vânt [m/s]			Valoare medie temperatură [°C]			Valoare medie umiditate [%]		
	3.1	13.1	18.1	12.4	22.4	27.4	75.2	37.6	0
Performance ratio PR [%]	86	86.73	86.73	86	82.93	81.01	86	86.73	86.73
Array virtual energy [kWh]	28.103	28.894	28.894	28.103	27.633	26.995	28.103	28.894	28.894
PV loss due to temperature [%]	6.71	6.08	6.08	6.71	10.14	12.19	6.71	6.08	6.08

Cele mai mari diferențe ale rezultatelor analizate și prezentate în tabelul nr. 4.2 au fost obținute la variațiile temperaturii mediului ambiant [11], [12], [13]. Îmbunătățiri ale randamentului sistemului de panouri fotovoltaice au fost observate și în cazul creșterii vitezei vântului și scăderii umidității aerului. Cert este că la nivel macro modificarea acestor parametri este imposibil de realizat; totuși, există ameliorări ale acestora în domeniul naval deoarece sistemele exploatate în acest mediu au parte de o răcire mult mai bună datorată prezenței curenților de aer marin, care sunt mai reci și au o frecvență mai mare decât cei costieri.

Combi-nația diverselor variații pentru cei trei factori de influență este în situația reală întâmplătoare. Din acest punct de vedere numai simularea poate formula concluzii. Situațiile reale fac ca funcționarea să se producă la o combinație aleatoare a factorilor. Cu metode mai avansate de combinare a nivelurilor factorilor de influență, în mod aleator, se pot investiga și aceste situații, dar câștigul de informație este redus.

### 4.3 Influența factorilor de mediu/model matematic

Așadar, ecuația (4.1) prezentată anterior în acest capitol reiese din ecuația (4.8), introducându-se rezistențele de serie și sunt existente într-o celulă PV.

Pentru a simula comportamentul unei celule fotovoltaice la variații ale vântului și temperaturii mediului ambiant cu softul LabView este necesar un model matematic. Literatura de specialitate propune mai multe studii referitoare la acțiunea și modul în care vântul răcește suprafața celulelor PV, îmbunătățindu-le astfel randamentul [14][15], [16], [17], [18]. Pentru aceasta este nevoie de o ecuație care să înglobeze atât temperatura celulei PV cât și vântul care influențează această temperatură.

Așadar, conform C. Schwingshackl et. all [14], temperatura unei celule este calculată conform:

$$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) \quad (4.3)$$

unde:

$T_c$  – temperatura celulei [K];

$T_a$  – temperatura mediului ambiant [K];

$G$  – este iradiația pe planul panoului PV [W/m<sup>2</sup>];

$G_{NOCT}$  – iradiația la temperatura nominală de operare a celulei PV [W/m<sup>2</sup>];

$T_{NOCT}$  – temperatura nominală de operare a celulei PV (depinde de tehnologia PV și are o valoare tipică de aproximativ 45[°C]);

$T_{aNOCT}$  – temperatura mediului ambiant la condiții standard de operare - ( $T_{aNOCT} = 20[°C]$ );

$G_{NOCT} = 800 [W/m^2]$ ;

$T_{NOCT} = 318,15 [K]$ ;

$T_{aNOCT} = 293,15 [K]$ .

$NOCT$  – Normal Operating Cell Temperature (Temperatura Nominală de Operare a Celulei)

Skoplaki et al. sugerează un model avansat pentru a integra vântul în formula standard NOCT (ecuația 4.9). Acest model ia în considerare – pe lângă temperatura ambiantă  $T_a$  și iradiația  $G$  ce ajunge pe celula PV, viteza vântului  $v$  și proprietăți specifice celulelor PV, cum ar fi eficiența  $\eta$ , coeficientul de temperatură al puterii maxime  $\beta$ , transmitanța sistemului de acoperire  $\tau$  și coeficientul de absorbție al celulelor PV,  $\alpha$ .

Astfel, ecuația (4.9) devine:

$$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) \cdot \frac{h_{wNOCT}}{h_w(v)} \cdot \left[ 1 - \frac{\eta_{STC}}{\tau \cdot \alpha} (1 - \beta_{STC} T_{STC}) \right] \quad (4.4)$$

unde:

-  $\eta_{STC}$  și  $\beta_{STC}$  sunt eficiența și coeficientul de temperatură ale puterii maxime în condiții standard de testare (STC): iradiație de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ambiantă de 25°C și masa de aer 1.5. Valorile pentru eficiență și coeficientul de temperatură ale puterii maxime sunt enumerate în tabelul 4.7 de mai sus. Valoarea pentru  $\tau \cdot \alpha$  poate fi de obicei asumată ca fiind 0.9.

-  $h_{wNOCT}$  – coeficientul de convecție al vântului pentru viteza vântului la condiții NOCT;

$v_w(NOCT) = 1 \text{ m/s}$ ;

-  $h_w$  – coeficientul de convecție al vântului. Acest parametru este o funcție liniară a vitezei vântului ce prezintă două valori diferite în funcție de locul unde se efectuează măsurarea factorului climatic analizat:

$$h_w = 8.91 + 2 \cdot v_f \quad (4.5)$$

$$h_w = 5.7 + 2.8 \cdot v_w \quad (4.6)$$

unde:

$v_f$  – viteza vântului măsurată la 10 m deasupra panoului PV;

$v_w$  – viteza vântului lângă panoul PV;

Alte două ecuații pentru coeficientul de convecție al vântului sunt prezentate mai jos [15], [19]:

$$h_w = 8.3 + 2.2 \cdot v_w, \quad h_{wNOCT} = 10.5 \quad (4.7)$$

- pentru direcții ale vântului perpendiculare pe suprafața panoului PV;

$$h_w = 6.5 + 3.3 \cdot v_w, \quad h_{wNOCT} = 9.8 \quad (4.8)$$

- pentru direcții ale vântului paralele cu suprafața modulului PV.

Pentru a crea ecuația modelului matematic ce va fi implementat în soft-ul de programare LabVIEW voi pleca de la ecuația (4.1) ce descrie curentul generat de o celulă PV.

Conform literaturii de specialitate formula fotocurentului este următoarea:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \cdot [I_{phref} + \mu_{ISC} \cdot (T - T_{ref})] \quad (4.9)$$

unde:

$G_{ref}$  – iradiția de referință (1000) [W/m<sup>2</sup>];

$T_{ref}$  – temperatura de referință a celulei [K] (298.15 K sau 25°C);

$\mu_{ISC}$  = coeficientul de temperatură a fotocurentului (+0.05%/°C).

În ecuația curentului (4.1) am substitui ecuația (4.10) și am obținut:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[ e^{\left( \frac{q(V+I R_s)}{N_{CS} \cdot \gamma \cdot K_B \cdot \left( T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) \right) \frac{h_{wNOCT}}{h_w(v)} \left[ 1 - \frac{\eta_{STC}}{\tau \cdot \alpha} (1 - \beta_{STC} T_{STC}) \right] \right)} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{SH}} \quad (4.10)$$

$R_s$  – rezistența serie = 1398 [Ω];

$R_{sh}$  - rezistența șunt = 1000 [Ω];

$I_0$  – curentul de saturație inversă =  $4.12 \times 10^{-10}$  [A]; toți acești parametri fiind furnizați de producătorul panoului PV folosit pentru simulare (10 Wp), panou ce va fi descris în capitolul următor.

Această ultimă ecuație încorporează dependența de temperatură și vânt arătând influența complexă a condițiilor de mediu asupra curentului generat de o celulă PV. Ea evidențiază modul în care factorii de mediu precum viteza vântului și temperatura mediului ambiant afectează modul de funcționare al celulei și în consecință randamentul acesteia.

#### 4.4 Simularea în LabVIEW a unui panou PV cu o putere maximă de 10 Wp

În urma simulărilor efectuate am analizat în prima etapă influența temperaturii mediului ambiant asupra curentului produs de o celulă PV.

Din datele prezentate în tabelul 4.3, de mai jos, se poate observa o creștere constantă a curentului pe măsură ce temperatura crește. Acest comportament este cunoscut în domeniul energiei PV deoarece materialele semiconductoare utilizate în construcția celulelor PV prezintă caracteristici de performanță ce se degradează pe măsură ce temperaturile cresc.

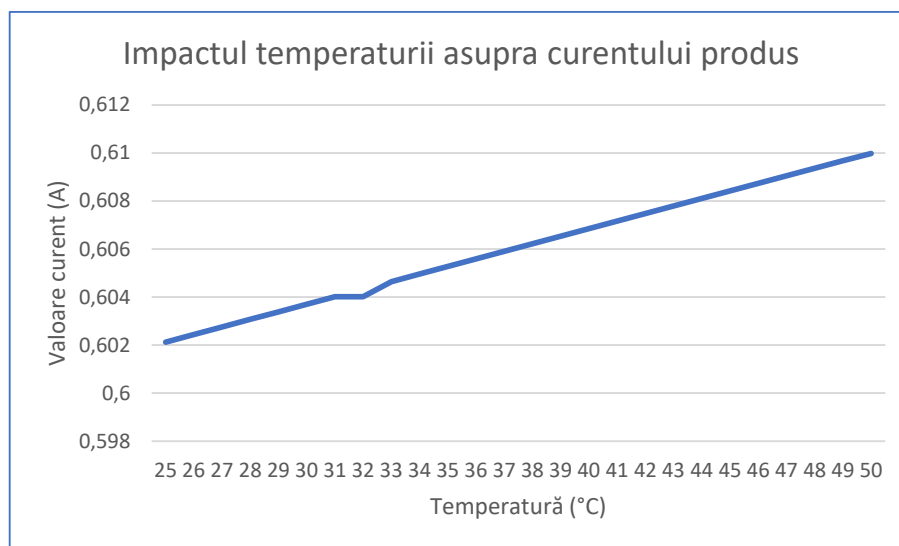
Curentul crește de la valoarea de 0.60210 A înregistrată la temperatura de 25 °C la valoarea de 0.60996 A, atinsă la temperatura de 50 °C. Acest lucru confirmă faptul că temperaturile ridicate influențează generarea de purtători de sarcină, la care dacă adăugăm și gradul mare de mobilitate al acestora, rezultă o creștere a curentului de scurtcircuit, dar o reducere semnificativă a tensiunii produsă de celulă. Scăderea tensiunii produse afectează mult mai puternic puterea totală generată. Așadar, în ciuda faptului că avem o creștere ușoară a curentului produs, scăderea mai mare a tensiunii va conduce la o reducere generală a eficienței și a puterii totale dezvoltate de celula PV la temperaturi ridicate[20], [21].

După calcularea ratei medii de creștere a curentului per grad Celsius reiese faptul că, în medie, curentul generat crește cu aproximativ 0.0003144 A pentru fiecare grad Celsius în plus. Graficul din fig. 4.4 ilustrează clar cum valoarea curentului crește pe măsură ce temperatura crește.



**Tabelul nr. 4.3 Valori ale curentului obținut la variații ale temperaturii**

Nr. crt.	Temperatură (°C)	Curent (A)	Viteză vânt (m/s)
1.	25	0,60210	0
2.	26	0,60242	0
3.	27	0,60273	0
4.	28	0,60305	0
5.	29	0,60336	0
6.	30	0,60368	0
7.	31	0,60399	0
8.	32	0,60399	0
9.	33	0,60462	0
10.	34	0,60494	0
11.	35	0,60525	0
12.	36	0,60557	0
13.	37	0,60588	0
14.	38	0,60620	0
15.	39	0,60651	0
16.	40	0,60683	0
17.	41	0,60714	0
18.	42	0,60746	0
19.	43	0,60777	0
20.	44	0,60809	0
21.	45	0,60840	0
22.	46	0,60872	0
23.	47	0,60903	0
24.	48	0,60935	0
25.	49	0,60966	0
26.	50	0,60996	0



**Fig. 4.4** Variația curentului produs

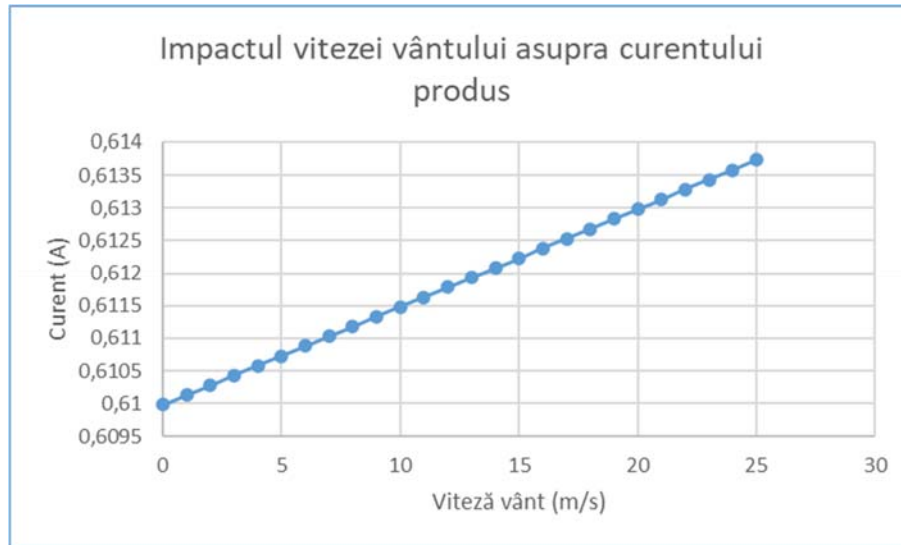
În etapa a doua am analizat variația curentului produs din prisma efectului pe care îl are viteza vântului asupra celulei PV. Am păstrat temperatura mediului ambiant constantă, la valoarea de 50 °C și am crescut treptat viteza vântului de la 0 la 25 m/s, conform tabelului de mai jos.

Tabelul nr. 4.4 Valori ale curentului obținut la variații ale vântului

Nr. crt.	Viteză vânt (m/s)	Curent (A)	Temperatură (°C)
1.	0	0,60996	50
2.	1	0,61011	50
3.	2	0,61026	50
4.	3	0,61041	50
5.	4	0,61056	50
6.	5	0,61071	50
7.	6	0,61086	50
8.	7	0,61101	50
9.	8	0,61116	50
10.	9	0,61131	50
11.	10	0,61146	50
12.	11	0,61161	50
13.	12	0,61176	50
14.	13	0,61191	50
15.	14	0,61206	50
16.	15	0,61221	50
17.	16	0,61236	50
18.	17	0,61251	50
19.	18	0,61266	50
20.	19	0,61281	50
21.	20	0,61296	50
22.	21	0,61311	50
23.	22	0,61326	50
24.	23	0,61341	50
25.	24	0,61356	50
26.	25	0,61371	50

Cum era de așteptat, am observat că viteza vântului are un efect pozitiv asupra eficienței unei celule PV. În momentul în care viteza vântului crește, valoarea curentului produs de celulă crește și ea. Viteza vântului ajută la răcirea panoului PV, ceea ce conduce la o creștere a eficienței.

Conform tabelului 4.4, curentul crește constant de la valoarea de 0.60996 A la o viteză a vântului de 0 m/s, până atinge valoarea de 0.61371 A la o viteză a vântului de 25 m/s. Pentru a cuantifica impactul generat de vânt asupra curentului produs am calculat rata medie de creștere pentru fiecare variație a vitezei vântului. Am constatat că, în medie, curentul crește cu aproximativ 0.0001248 A pentru fiecare creștere a vitezei vântului cu 1 m/s. Acest fapt confirmă influența pozitivă a vântului în contextul energiei fotovoltaice.

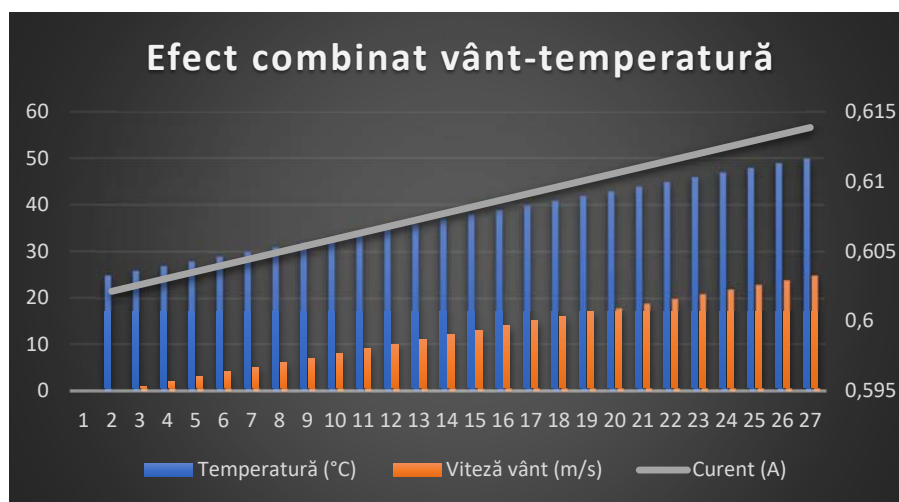


**Fig. 4.5** Variația curentului produs

În cea de-a treia etapă, ultima, a acestui subcapitol am analizat impactul combinat al temperaturii mediului ambiant și vitezei vântului asupra randamentului unei celule PV. Combinațiile de temperaturi scăzute (25-30 °C) și vitezele mici ale vântului (0-5 m/s) arată cele mai mici valori ale curentului produs.

Cum era de așteptat, combinațiile de temperaturi ridicate (45-50 °C) și viteze mari ale vântului (15-25 m/s) arată cele mai mari valori ale curentului produs. Și de această dată acest lucru confirmă că temperaturile ridicate cresc valoarea curentului, însă reduc eficiența celulei PV prin scăderea tensiunii de circuit deschis, rezultând astfel o eficiență scăzută a celulei.

Comparând rata de creștere a curentului doar în funcție de temperatură, fără a lua în calcul efectul de răcire al vântului de la prima etapă (0.0003144 A/°C) cu rata de creștere combinată obținută în ultima etapă a simulării (0.00048 A/°C) se observă o rată mai mare de creștere.



**Fig. 4.6** Variația curentului produs

**Tabelul nr. 4.5 Valori ale curentului obținut la efect combinat vânt-temperatură**

Nr. crt.	Temperatură (°C)	Viteză vânt (m/s)	Curent (A)
1.	25	0	0,60210
2.	26	1	0,60257
3.	27	2	0,60304
4.	28	3	0,60351
5.	29	4	0,60398
6.	30	5	0,60445
7.	31	6	0,60492
8.	32	7	0,60539
9.	33	8	0,60586
10.	34	9	0,60633
11.	35	10	0,60680
12.	36	11	0,60727
13.	37	12	0,60774
14.	38	13	0,60821
15.	39	14	0,60868
16.	40	15	0,60915
17.	41	16	0,60962
18.	42	17	0,61009
19.	43	18	0,61056
20.	44	19	0,61103
21.	45	20	0,61150
22.	46	21	0,61197
23.	47	22	0,61244
24.	48	23	0,61291
25.	49	24	0,61338
26.	50	25	0,61371

Analizând valorile obținute în urma celor două simulări cu soft-uri diferite, acestea confirmă că temperatura mediului ambiant are un efect negativ asupra eficienței celulei PV. Rata medie de creștere a curentului per grad Celsius observată în simulări indică o sensibilitate crescută a performanței panourilor PV la variațiile de temperatură. Prin urmare, în zonele cu temperaturi ridicate este necesară implementarea unor strategii de răcire (pasive sau active) pentru a menține în parametri optimi de funcționare sistemele PV. În aceeași măsură, simulările arată cum viteza vântului influențează pozitiv randamentul celulelor. Cu cât există mișcări rapide ale maselor de aer în vecinătatea panourilor PV, acestea sunt răcite, iar valoarea curentului produs crește.

Locațiile ideale pentru instalarea sistemelor PV ar trebui să dispună de temperaturi nu foarte ridicate și vânturi constante, asigurându-se astfel o răcire eficientă. Legat de construcție, sistemele PV trebuie să fie proiectate cu soluții artificiale de răcire, sisteme de monitorizare a vitezei vântului și temperaturii mediului ambiant și posibilitate de auto curățare în măsura în care instalațiile sunt izolate.

## 5. Descrierea standului experimental

**Tabelul nr. 5.1 Caracteristici ale panoului PV utilizat în simulare**

Parametru	Valoare
Puterea Maximă ( $P_{\max}$ )	10 W
Curentul maxim ( $I_{\text{mp}}$ )	0.55 A
Tensiune la $P_{\max}$ ( $V_{\text{mp}}$ )	18 V
Curentul de scurtcircuit ( $I_{\text{sc}}$ )	0.62 A
Tensiunea la mers în gol ( $V_{\text{oc}}$ )	21.49 V
Dimensiuni	300x280x17 mm



**Fig. 5.1** Panoul PV utilizat

Configurația standului de achiziție date cuprinde un panou PV de 10 Wp, o sarcină și un sistem de achiziție a datelor. Colectarea datelor s-a realizat prin montarea panoului PV pe clădirea Facultății de Inginerie Marină din cadrul Academiei Navale „Mircea cel Bătrân”.

Achiziția datelor s-a realizat cu modulul multifuncțional USB 6008. Acest produs dispune de două canale de intrare analogice de tip single-ended[22] (într-o configurație de acest tip fiecare canal de intrare are un singur fir conectat la sursa de semnal și un alt fir conectat la masă), precum și de 12 canale de intrare /ieșire digitale cu un număr de 32 de biți. Am utilizat o singură intrare analogică de pe care a fost înregistrată tensiunea produsă de panoul PV și o intrare destinată împământării.

Cu unul sau mai multe canale, dispozitivul multifuncțional de la National Instruments USB-6008 poate măsura și înregistra semnalul analogic de 10.000 de ori pe secundă, asigurând în acest mod o captură exactă a datelor. Este echipat cu o conexiune USB, un LED și două terminale de conectori cu șurub. Conexiunea USB este pentru o interfață USB de mare viteză, în timp ce terminalele de conectori cu șurub sunt pentru preluarea datelor de la senzori și trimiterea de semnale de control (intrare/ieșire). Led-ul verde se aprinde pentru a indica starea dispozitivului. Se pot obține citiri analogice de tip single-ended de la cele 8 intrări analogice sau de tip diferențial de la 4 dintre ele. Modulul USB 6008 cuprinde în structura sa un convertor analog-digital pentru conversia semnalelor analogice în semnale digitale și un amplificator de câștig programabil pentru ajustarea câștigurilor de intrare corespunzătoare atunci când instrumentul este configurat pentru măsurători diferențiale.



Fig. 5.2 Modulul USB 6008 – National Instruments[23]

### 5.1 Achiziția și analiza datelor experimentale pentru un panou PV de 10 Wp

Panoul PV a fost instalat pe clădirea Facultății de Inginerie Marină a Academiei Navale „Mircea cel Bătrân”, având o înclinare de 45 de grade, iar perioada de achiziție a datelor a fost de 13 săptămâni (26.02-26.05.2024). Datele meteorologice (viteză vânt, viteza vântului la rafală, temperatura mediului ambiant și umiditatea) au fost furnizate de către Direcția Hidrografică Maritimă „Comandor Alexandru Cătuneanu” – Constanța.



Fig. 5.3 Amplasarea panoului PV pe clădirea Facultății de Inginerie Marină

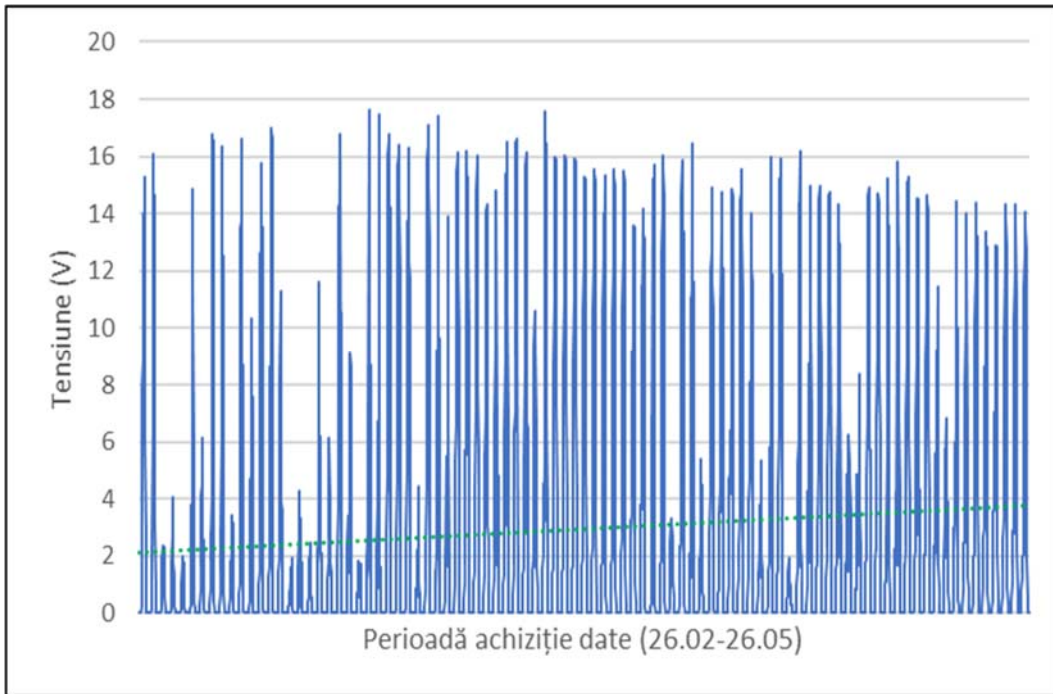


Fig. 5.4 Producția de tensiune a panoului PV de 10 Wp

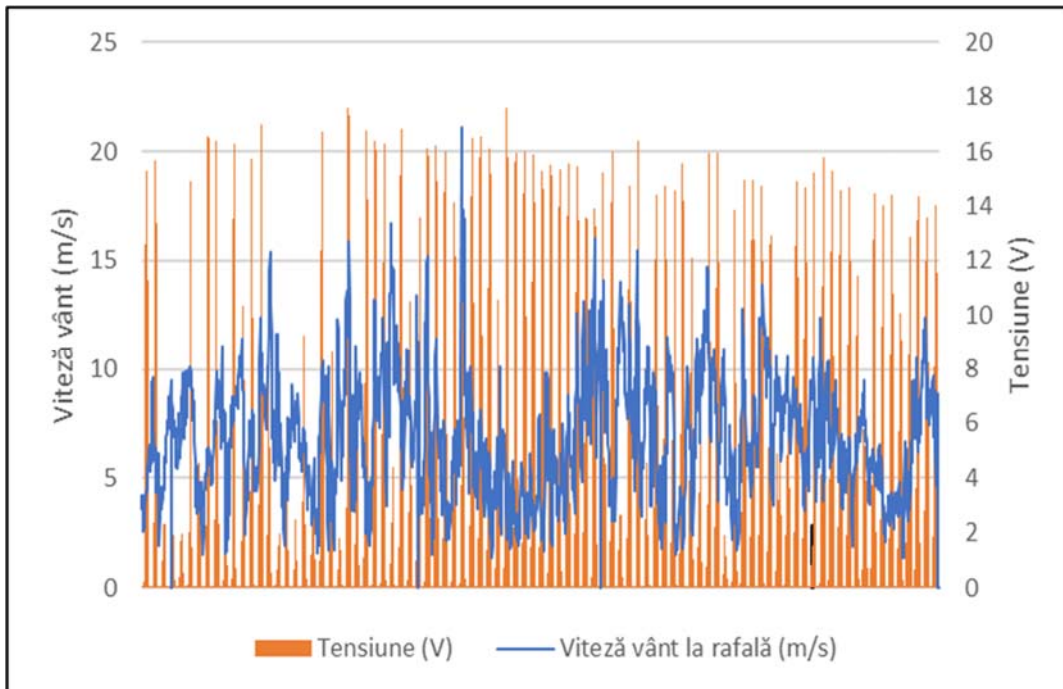


Fig. 5.5 Dependența tensiune-vânt pentru perioada 26.02-26.05.2024

În figura 5.4 sunt prezentate valorile tensiunilor produse de către panoul PV din componența standului experimental. Intervalul de timp acoperă aproximativ trei luni, iar tensiunea prezintă o variabilitate semnificativă pe parcursul perioadei analizate, cu multe spike-uri. Acest lucru se datorează în principal alternanțelor zi/noapte, dar și modificărilor suferite de factorii meteorologici ce influențează în mod direct eficiența panoului PV.



Linia punctată de culoare verde reprezintă tendința generală a tensiunii ce are o valoare aproape constantă în jurul valorii de 2-3 V.

Graficul din figura 5.5 reprezintă dependența dintre tensiunea produsă de panoul PV amplasat costier și viteza vântului la rafală pentru întreaga perioadă de timp cât s-a realizat achiziția de date. Atât viteza vântului cât și tensiunea prezintă variații semnificative și un comportament oscilatoriu pe parcursul intervalului de timp analizat. Din punct de vedere al relației dintre viteza vântului și tensiunea produsă observăm că există o corelație pozitivă; în momentele în care viteza vântului crește, tensiunea produsă tinde să crească și ea. Cu toate acestea, vârfurile de tensiune nu corespund întotdeauna cu vârfurile de viteză ale vântului, acest lucru sugerând prezența altor factori care influențează performanța sistemului.

Fluctuațiile vitezei vântului sunt distribuite relativ uniform pe parcursul perioadei analizate, cu valori ce variază între 0 și 23 m/s. Aceste variații rapide ale intensității vântului sunt reflectate în valorile tensiunii produse care variază între 0 și 18 V. Această variabilitate sugerează că panoul PV este sensibil la schimbările rapide ale factorilor meteorologici, în cazul de față fiind vorba de viteza vântului.

Dependența observată între viteza vântului și tensiunea produsă de panoul PV este un proces extrem de important pentru optimizarea performanței sistemelor PV de generare a energiei electrice. Astfel, putem implementa măsuri care vor maximiza producția în perioadele cu vânt puternic, sau putem atenua variațiile bruște de tensiune pentru o livrare constantă către rețeaua electrică.

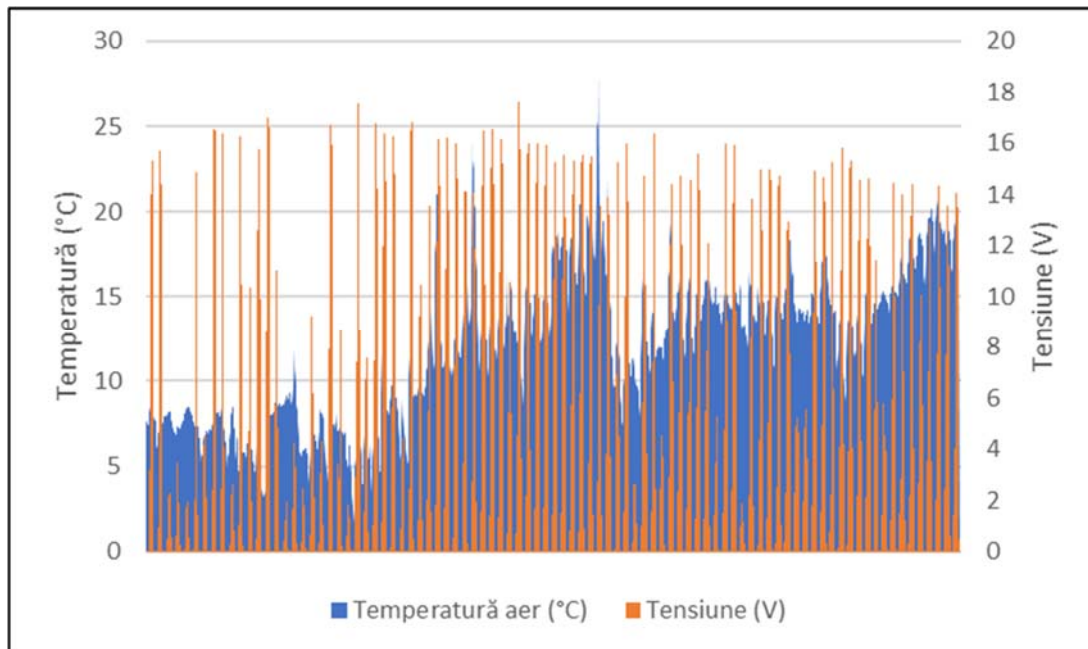


Fig. 5.6 Dependența tensiune-temperatură pentru perioada 26.02-26.05.2024

Graficul din figura de mai sus indică relația dintre temperatura aerului măsurată în °C și tensiunea produsă de standul experimental, pentru aceeași perioadă de timp. Datele despre temperatură sunt reprezentate prin linia albastră, iar datele despre tensiune sunt reprezentate prin linia portocalie. Acest grafic ne permite să observăm modul în care temperatura aerului influențează performanța panoului PV.

Temperatura aerului fluctuează semnificativ, variind între 0 °C și 29 °C. Aceste variații se datorează alternanței zi-noapte și sezoniere, cu creșteri ale temperaturii care indică cicluri

zilnice de încălzire și răcire. În mod tipic, temperaturile cresc pe parcursul zilei, atingând un vârf după-amiaza și scad pe timpul nopții, aliniindu-se cu tiparele meteorologice naturale.

Tensiunea produsă arată, în aceeași măsură, o variabilitate considerabilă, cu valori oscilând între 0 V și 18 V. Relația dintre temperatură și eficiența unui panou PV nu este atât de simplă. Contrar a ceea ce s-ar putea presupune inițial, o creștere a temperaturii va duce adesea la o scădere a tensiunii produse de sistemul PV.

În grafic se observă cazuri în care temperaturile ridicate corespund unor niveluri mai scăzute ale tensiunii, evidențiind efectul inhibitor al temperaturii asupra eficienței PV. În schimb, în perioadele mai răcoase, tensiunea tinde să fie mai mare, demonstrând performanța îmbunătățită a celulelor PV la temperaturi scăzute.

Analiza graficelor prezentate mai sus ilustrează performanța sistemelor PV în condiții meteorologice variabile și pune la dispoziție informații importante despre modul în care aceste sisteme se comportă în scenarii reale. Constatările confirmă rezultatele obținute prin simulări în capitolul 4 al acestei teze, îmbunătățind astfel înțelegerea factorilor de mediu care influențează eficiența PV.

### 5.2 Influența umidității aerului asupra eficienței standului experimental



**Fig. 5.7** Executarea experimentului și realizarea măsurătorilor

După realizarea măsurătorilor am procedat la întocmirea tabelului cu datele înregistrate.

De această dată am analizat tensiunea produsă de panoul PV în raport cu umiditatea creată artificial, iar valorile obținute sunt prezentate în tabelul următor.

**Tabelul nr. 5.2 Valori ale tensiunii obținute la variații de umiditate**

Nr. crt.	Umiditate relativă (%)	Tensiune (V)	Curent (A)
1.	22	16,39	0,546
2.	23	16,32	0,544
3.	24	16,25	0,542
4.	25	16,63	0,554
5.	32	14,36	0,479
6.	33	14,29	0,476
7.	34	14,26	0,475
8.	35	14,31	0,477
9.	36	14,16	0,472
10.	37	14,88	0,496
11.	38	14,93	0,498
12.	39	14,30	0,477
13.	41	14,44	0,481
14.	40	14,31	0,477
15.	42	14,25	0,475
16.	43	14,20	0,473
17.	44	14,08	0,469
18.	46	13,66	0,455
19.	47	13,51	0,450
20.	48	14,22	0,474
21.	49	13,59	0,453
22.	50	13,50	0,450
23.	51	13,49	0,450
24.	52	13,48	0,449
25.	54	13,45	0,448
26.	55	13,40	0,447
27.	56	13,47	0,449

Datele prezentate indică o relație între cei doi parametri analizați. Prin urmare, se observă că pe măsură ce umiditatea crește, tensiunea tinde să scadă. Acest rezultat a fost anticipat în capitolul 4 al acestei teze, în cadrul simulării PVsyst.

Analizând valorile înregistrate de umiditate am constatat o creștere treptată a acesteia de la 22% la 56% (maximul pe care am reușit să-l ating în cadrul experimentului). Această variație nu este liniară dar are o tendință clară de creștere pe parcursul perioadei de observație.

Valorile tensiunii încep de la 16,39 V pentru valoarea cea mai mică a umidității (22%) și scad treptat până la 13,47 V pentru valoarea cea mai mare a umidității (56%), evidențiind o scădere generală, cu unele oscilații intermediare.

Această relație inversă între umiditate și tensiune poate fi explicată prin mai multe mecanisme fizice. Umiditatea crescută poate afecta caracteristicile electrice ale panoului PV (rezistența de izolație a materialelor – creând pierderi suplimentare în circuit). Cert este că umiditatea afectează transmisia luminii către celulele fotovoltaice prin acumulare de condens sau prin modificarea proprietăților optice ale suprafeței captatoare de lumină a panoului. Figura de mai jos indică relația inversă dintre umiditate și eficiența panoului PV.

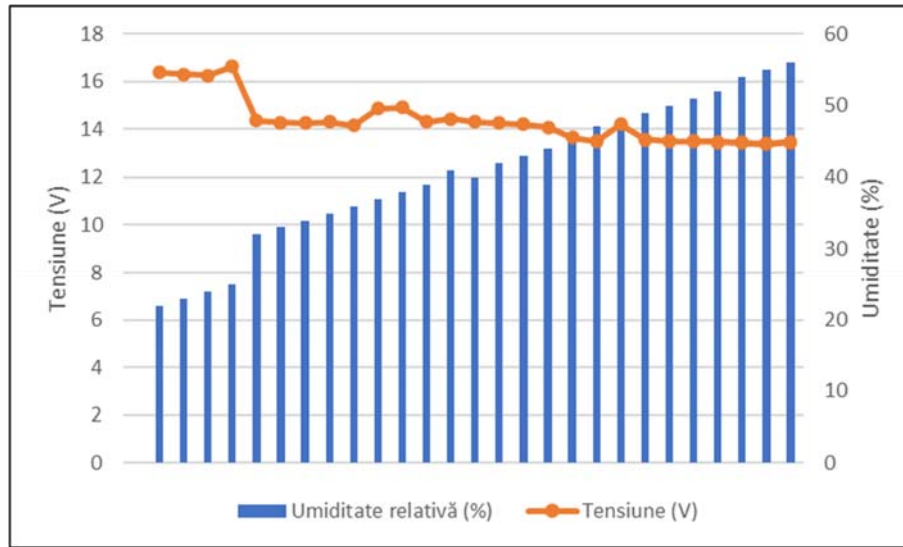


Fig. 5.8 Relația inversă dintre umiditate și tensiune

Simulările au prezis cu acuratețe comportamentul panourilor PV în condiții de mediu variate (în cazul de față – zone cu climat marin), iar datele experimentale au confirmat aceste predicții. În mod specific, am observat cum creșterea temperaturii duce, în general, la scăderea eficienței panourilor PV. Acest lucru îl putem atribui caracteristicilor intrinseci ale materialelor semiconductoare utilizate la construcția panourilor și care prezintă un randament scăzut la temperaturi de lucru mai ridicate, fapt ce conduce la recombinarea perechilor gol-electron.

Am mai constatat că umiditatea afectează eficiența panourilor în același mod în care o face și temperatura. Pe măsură ce nivelul umidității crește se constată o scădere notabilă a tensiunii produse de panoul PV pe care am executat experimentul.

Viteza vântului, deși nu la fel de impactantă precum temperatura și umiditatea, joacă un rol foarte important în influențarea într-un mod pozitiv a eficienței panoului PV cu care s-a realizat experimentul. Viteza vântului ajută la răcirea panourilor, atenuând parțial efectele negative ale temperaturilor ridicate. Cu toate acestea, condițiile extreme de vânt pot deteriora fizic sistemele PV sau favorizează acumularea de murdărie pe suprafața captatoare a panourilor PV, mai ales în zonele cu climat marin unde există spray-urile de sare și particule de nisip.

Alinierea reușită a datelor din simulări și experimente accentuează robustețea modelelor matematice utilizate în această teză. Acest lucru confirmă faptul că modelele matematice pot prezice în mod fiabil performanța panourilor PV într-o gamă variată de condiții de mediu. Această aliniere validează, în aceeași măsură, configurarea experimentală și metodologia, afirmând că standul reflectă cu acuratețe condițiile reale.

Așadar, concluziile ce au fost extrase din acest capitol evidențiază necesitatea critică de a lua în considerare factorii de mediu în proiectarea și implementarea sistemelor PV. Prin înțelegerea și anticiparea impactului temperaturii mediului, vitezei vântului și umidității este posibilă optimizarea amplasării și întreținerii panourilor PV pentru a maximiza eficiența și longevitatea acestora. Această cercetare contribuie cu informații valoroase ce pot sprijini viitoarele progrese în tehnologia PV și practicile de exploatare ale surselor regenerabile de energie.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] “Riviera - News Content Hub - Eco Marine Power receives AiP for renewable energy system.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/eco-marine-power-receives-aip-for-marine-renewable-energy-system-65724>
- [2] G. C. Hegerl *et al.*, “Causes of climate change over the historical record,” Dec. 09, 2019, *Institute of Physics Publishing*. doi: 10.1088/1748-9326/ab4557.
- [3] “4 Climate Stories that Will Define 2024 | World Resources Institute.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.wri.org/insights/4-climate-stories-will-define-2024>
- [4] “World Energy Outlook 2020 – Analysis - IEA.” Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- [5] R. Bender *et al.*, “Corrosion challenges towards a sustainable society,” *Materials and Corrosion*, vol. 73, no. 11, pp. 1730–1751, Nov. 2022, doi: 10.1002/maco.202213140.
- [6] M. Diantoro, T. Suprayogi, A. Hidayat, A. Taufiq, A. Fuad, and R. Suryana, “s Equation Fit Analyses for Solar Cell Parameters from I-V Curves,” 2018, doi: 10.1155/2018/9214820.
- [7] “(2) (PDF) Proiect de cercetare științifică: Cercetări privind integrarea surselor fotovoltaice în rețelele electrice.” Accessed: Jun. 22, 2024. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/281522061\\_Proiect\\_de\\_cercetare\\_stiintifica\\_Cercetari\\_privind\\_integrarea\\_surselor\\_fotovoltaiice\\_in\\_retelele\\_electrice/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/281522061_Proiect_de_cercetare_stiintifica_Cercetari_privind_integrarea_surselor_fotovoltaiice_in_retelele_electrice/figures?lo=1)
- [8] “Solar cells: Operating principles, technology, and system applications - NASA/ADS.” Accessed: Jun. 22, 2024. [Online]. Available: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1982ph...book.....G/abstract>
- [9] “Meteo Data Source – PVsyst.” Accessed: Jun. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/meteo-data-source/>
- [10] “Investește în oameni !”
- [11] M. Bălăceanu, N.-S. Popa, V. Nae, M.-C. Târhoacă, and M.-O. Popescu, “The Influence of Environmental Factors on a Photovoltaic Panel-PVsyst Simulation,” *Automatica (EEA)*, vol. 72, no. 2, pp. 3–12, 2024, doi: 10.46904/eea.24.72.2.1108001.
- [12] M. Bălăceanu, N.-S. Popa, V. Nae, M.-C. Târhoacă, and C. Popa, “State of the Art in Wind Turbine and Photovoltaic Panels.” [Online]. Available: [www.techniumscience.com](http://www.techniumscience.com)
- [13] N. Badara *et al.*, ““Mircea cel Batran’ Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XX-2017-Issue 1 The journal is indexed in: PROQUEST / DOAJ / Crossref / EBSCOhost / INDEX COPERNICUS / DRJI / OAJI / JOURNAL INDEX / I2OR



- / SCIENCE LIBRARY INDEX / Google Scholar / Academic Keys/ ROAD Open Access / Academic Resources / Scientific Indexing Services / SCPIO / JIFACTOR 2017-Issue no. 1 ABSTRACT MECHANICAL AND ELECTRICAL SCIENCE.”
- [14] C. Schwingshackl *et al.*, “Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation,” in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2013, pp. 77–86. doi: 10.1016/j.egypro.2013.08.010.
- [15] F. Chiacchio, F. Famoso, D. D’Urso, S. Brusca, J. I. Aizpurua, and L. Cedola, “Dynamic Performance Evaluation of Photovoltaic Power Plant by Stochastic Hybrid Fault Tree Automaton Model,” *Energies* 2018, Vol. 11, Page 306, vol. 11, no. 2, p. 306, Jan. 2018, doi: 10.3390/EN11020306.
- [16] R. S. Faranda, H. Hafezi, S. Leva, M. Mussetta, and E. Ogliari, “The optimum PV plant for a given solar DC/AC converter,” *Energies (Basel)*, vol. 8, no. 6, pp. 4853–4870, 2015, doi: 10.3390/EN8064853.
- [17] F. Famoso, R. Lanzafame, S. Maenza, and P. F. Scandura, “Performance comparison between micro-inverter and string-inverter Photovoltaic Systems,” *Energy Procedia*, vol. 81, pp. 526–539, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2015.12.126.
- [18] “Energies | Free Full-Text | Dynamic Performance Evaluation of Photovoltaic Power Plant by Stochastic Hybrid Fault Tree Automaton Model.” Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/2/306>
- [19] “Sci-Hub | A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. Applied Thermal Engineering, 30(11-12), 1488–1495 | 10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012.” Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://sci-hub.se/10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012>
- [20] G. G. Singh, P. K. Dash, and N. C. Gupta, “Effect of Temperature on Power Output from Different Commercially available Photovoltaic Modules,” 2015. [Online]. Available: [www.ijera.com](http://www.ijera.com)
- [21] A. Hm, S. Klaus, J. Olindo, I. René, A. Van Swaaij, and M. Zeman, “Solar energy The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems.”
- [22] G. Soni and A. Sharma, “Implementation of Heart Beat Sensor using DAQmx USB 6008,” in *Proceedings of International Conference on Technological Advancements and Innovations, ICTAI 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 207–211. doi: 10.1109/ICTAI53825.2021.9673336.
- [23] “NEW NATIONAL INSTRUMENTS NI USB-6008 Data Acquisition Card | eBay.” Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.ebay.com/itm/314948491899>