



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE
ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICA
BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE
ELECTRICĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

**CONTRIBUȚII PRIVIND ALIMENTAREA DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ PRIN
MODULE MOBILE CU SURSE REGENERABILE**

Coordonator științific:

Prof.univ.dr.ing. Mihai Octavian POPESCU

Doctorand:

Ing. Nicolae-Silviu POPA

**BUCUREȘTI
2025**

CUPRINS	
CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	4
1.1. OBIECTIVELE TEMEI.....	5
CAPITOLUL 2. STADIUL ACTUAL AL ALIMENTĂRII DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ PRIN MODULE MOBILE	6
2.1. SURSE REGENERABILE DE ENERGIE PENTRU ALIMENTAREA DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ	6
2.1.1. <i>Energia solară și sistemele fotovoltaice.....</i>	6
2.2. STOCAREA ENERGIEI ELECTRICE	7
2.2.1. <i>Bateriile cu litiu</i>	7
2.3. CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE	7
CAPITOLUL 3. MODELAREA NUMERICĂ A SISTEMELOR FOTOVOLTAICE..	8
3.1. CONSIDERENTE GENERALE.....	8
3.2. CELULA FOTOVOLTAICĂ.....	8
3.2.1. <i>Caracteristica I-V a celulei fotovoltaice.</i>	8
3.2.2. <i>Construcția celulei fotovoltaice</i>	8
3.3. SIMULAREA ÎN PVSYS A MODULELEOR MOBILE DE ALIMENTARE A DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ CU SURSE REGENERABILE DE ENERGIE	9
3.3.1. <i>Bateriile de acumulatori</i>	9
3.3.2. <i>Programul PvSyst</i>	10
CAPITOLUL 4. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII UNEI CELULE FOTOVOLTAICE LA VARIAȚII DE ALBEDO ÎN LabVIEW.....	12
4.1. MODELE MATEMATICE DE BAZĂ ÎN FUNCȚIONAREA UNEI CELULE FOTOVOLTAICE ...	12
4.2. DETERMINAREA PARAMETRULUI ALBEDO ÎN FUNCȚIE DE VITEZA VÂNTULUI ȘI ÎNĂLȚIMEA VALURILOR.	13
4.2.1. <i>Descrierea procedurii.....</i>	14
4.2.2. <i>Determinarea modelului matematic pentru Albedo în funcție de înălțimea valului și viteza vântului.</i>	14
4.3. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII UNEI CELULE FOTOVOLTAICE LA VARIAȚII DE ALBEDO ÎN LABVIEW, FOLOSIND MODELUL MATEMATIC DETERMINAT AL ALBEDOULUI ÎN FUNCȚIE DE ÎNĂLȚIMEA VALULUI ȘI VITEZA VÂNTULUI.....	15
4.4. ANALIZA DATELOR SIMULATE ÎN SOFTWARE-UL DIAdem.....	17
4.5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE	18
CAPITOLUL 5. COMPARAREA DATELOR SIMULATE CU DATE OBȚINUTE EXPERIMENTAL (Validarea modelului matematic determinat)	19
5.1. ACHIZIȚIA DATELOR FOLOSIND SOFTWARE-UL LabVIEW ȘI MODULUL USB 6008.....	19
5.2. ANALIZA DATELOR OBȚINUTE PRIN ACHIZIȚII DE DATE.....	22
5.3. MODULE MOBILE DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ CU SURSE REGENERABILE.....	25
CAPITOLUL 6. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE	29
6.1. CONCLUZII	29
6.2. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	29
6.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE.....	29
BIBLIOGRAFIE	31

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

Dronele de suprafață au evoluat semnificativ datorită cercetării intense și interesului din domenii economice, politice și militare. Prima dronă de suprafață, prezentată de Nikola Tesla în 1898, a fost un vehicul controlat prin unde radio, marcând un avans major în robotică și tehnologie autonomă. [1], [2]

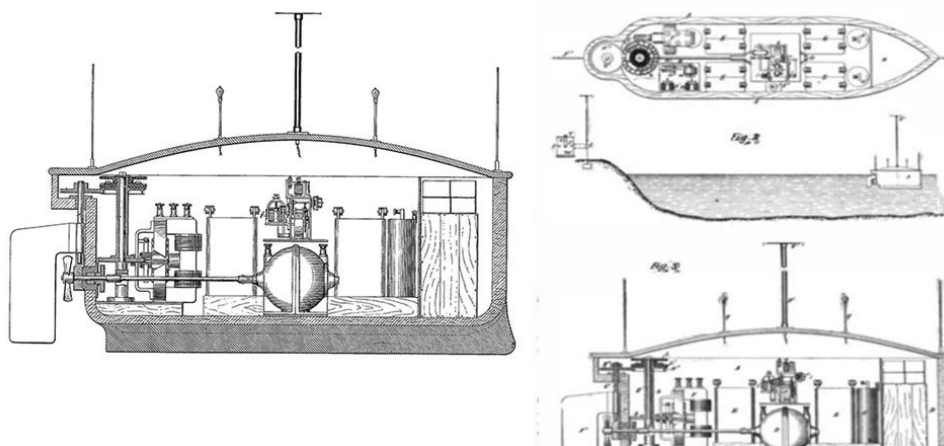


Figura 1.1 – Prima dronă/platformă de suprafață comandată de la distanță[2]

Dronele de suprafață, cunoscute și sub denumirea de USV (Unmanned Surface Vehicles), sunt ambarcațiuni autonome utilizate în diverse domenii precum hidrografie, oceanografie, ecologie, topografie și militar. Au caracteristici tactice și tehnice avansate, cum ar fi un deplasament mic, viteză mare și o amprentă radar și sonoră scăzută, care le conferă invizibilitate pe radare și sonare. Aceste drone sunt în permanență conectate la un centru de comandă care le atribuie misiuni și sarcini specifice. [3], [4], [5], [6], [7]

Sistemele mobile cu surse regenerabile sunt proiectate pentru alimentarea dronelor de suprafață, fiind caracterizate prin mobilitate, timp redus de montare și independență energetică. Aceste sisteme folosesc panouri fotovoltaice reglabile pentru a maximiza producția electrică și pot fi folosite în diverse medii, având aplicații atât civile, cât și militare. [8], [9], [10], [11], [12]

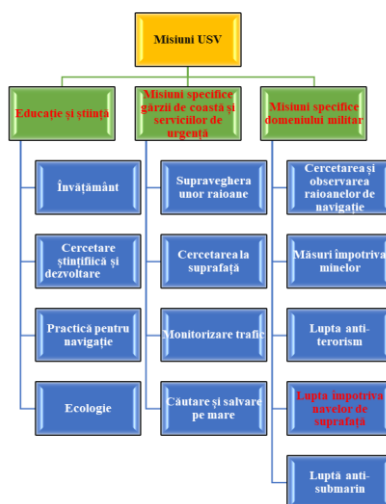


Figura 1.2 – Misiunile ce pot fi executate de dronele de suprafață

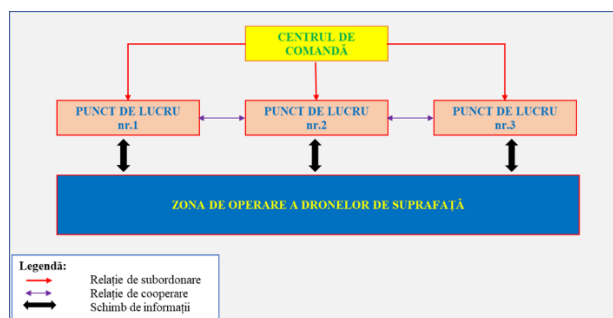


Figura 1.3 – Organigrama executării de misiuni cu drone de suprafață

Alimentarea cu energie regenerabilă a dronelor de suprafață oferă soluții sustenabile și independente energetic, esențiale în contextul geopolitic actual. Modulele mobile permit operarea în locuri izolate și pot servi ca backup pentru sistemele de comunicații și navigație ale navelor.

1.1. OBIECTIVELE TEMEI

Deoarece modulele mobile de alimentare a dronelor de suprafață cu energie regenerabilă sunt montate pe apă, un obiectiv principal este dezvoltarea unui model matematic pentru determinarea albedoului în funcție de parametrii hidrometeorologici. Acesta optimizează utilizarea sistemelor fotovoltaice și dronelor de suprafață. Un alt obiectiv este studiul sistemelor fotovoltaice pentru alimentarea dronelor în zone maritime sau fluviale pentru a spori eficiența încărcării bateriilor. Un al treilea obiectiv este analiza influențelor mediului marin asupra producției de energie electrică, realizarea modelului matematic, simularea, achiziția și validarea datelor. Teza urmărește realizarea de dispozitive practice și a unui demonstrator pentru producerea energiei electrice folosind module mobile cu surse regenerabile. De asemenea, se vizează diseminarea rezultatelor prin publicarea în articole științifice și participarea la conferințe internaționale.

CAPITOLUL 2. STADIUL ACTUAL AL ALIMENTĂRII DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ PRIN MODULE MOBILE

2.1.SURSE REGENERABILE DE ENERGIE PENTRU ALIMENTAREA DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ

2.1.1. Energia solară și sistemele fotovoltaice

Celula fotovoltaică este similară cu joncțiunea p–n utilizată în diode și multe dispozitive semiconductoare. Multe tipuri de materiale semiconductoare sunt folosite pentru a crea o celulă fotovoltaică, dar siliciul este în prezent cel mai comun. Dioxidul de siliciu este foarte abundent, constituind peste jumătate din scoarța terestră. Cu toate acestea, siliciul pur necesar pentru a crea celule eficiente este foarte mare consumator de energie. [17], [18]

Cele două elemente ale celulei fotovoltaice formează joncțiunea *PN* statică, lăsând o sarcină pozitivă pe o parte, iar o sarcină negativă pe cealaltă parte. Când un foton de lumină solară lovește celula fotovoltaică, cu suficientă energie, electronii încep deplasarea pe partea negativă a joncțiunii *PN*. [16], [17], [19]

Dronele de suprafață, alimentate cu energie regenerabilă, sunt utilizate în hidrografie, oceanografie, ecologie, topografie și militar. Acestea au caracteristici avansate și sunt conectate la un centru de comandă. Modulele fotovoltaice reglabile, folosite pentru alimentarea dronelor, oferă mobilitate și independență energetică.. [12], [13], [14]

În producția de energie electrică folosind panourile fotovoltaice trebuie să ținem cont de Albedo. **Albedo** este o măsură a reflexiei sau capacității unei suprafețe de a reflecta radiația solară. Se exprimă ca un raport între radiația reflectată de o suprafață și radiația incidentă pe acea suprafață, având valori între 0 și 1. [20], [21], [22]

În datele furnizate de Transelectrica se observă diferențe semnificative în producția de energie electrică prin panouri fotovoltaice între lunile iulie și decembrie, cauzate de condițiile meteorologice. În iulie, producția medie a fost de cca. 500MW, iar în decembrie de cca. 250MW, reflectând durata luminii solare și gradul de nebulozitate.

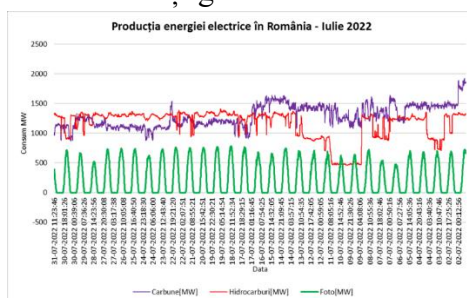


Figura 2.1 – Producția energiei electrice în luna Iulie – 2022 [23]

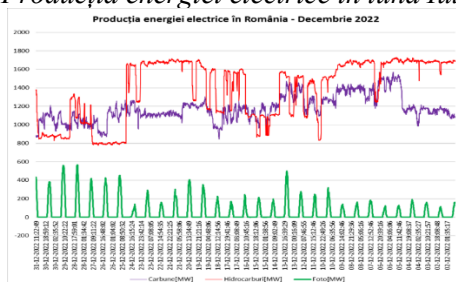


Figura 2.2 – Producția energiei electrice în luna Decembrie – 2022 [23]

2.2.STOCAREA ENERGIEI ELECTRICE

2.2.1. Bateriile cu litiu

Bateriile Li-ion sunt reîncărcabile, formate dintr-un catod din litiu, un anod din grafit și un electrolit. Ele au cicluri de viață lungi, depășind uneori 1000 de cicluri dacă sunt utilizate conform specificațiilor producătorului. Există diverse modele și tipuri de baterii Li-ion, fiecare cu propriile caracteristici și aplicații. [24], [25], [26]



Figura 2.3 – Tipuri de baterii pe bază de litiu [27]

2.3.CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Capitolul 2 al tezei discută despre utilizarea dronelor de suprafață alimentate cu energie regenerabilă în diverse domenii și avantajele lor. Se subliniază importanța acestor drone în operațiuni civile și militare, inclusiv în cercetare, monitorizarea granițelor și angajarea navelor de suprafață ostile. Se menționează, de asemenea, eficiența bateriilor Li-ion și importanța modelării sistemelor fotovoltaice pentru optimizarea producției de energie.

CAPITOLUL 3. MODELAREA NUMERICĂ A SISTEMELOR FOTOVOLTAICE

3.1. CONSIDERENTE GENERALE

Fenomenul fotovoltaic produce o diferență de potențial la joncțiunea dintre două materiale sub radiație solară, similar efectului fotoelectric explicat de Einstein în 1905. Energia unui foton este determinată de constanta Planck, frecvența fotonului, lungimea de undă și viteza luminii.

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3.1)$$

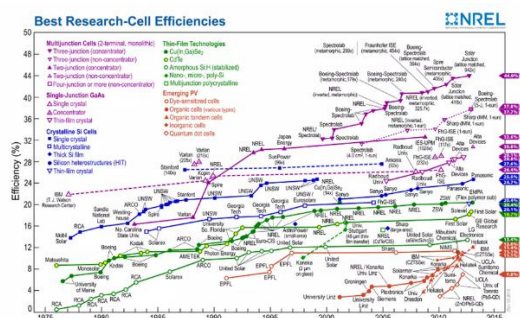


Figura 3.1. – Eficiența celor mai importante tehnologii de celule fotovoltaice[28]

3.2.CELULA FOTOVOLTAICĂ

3.2.1. Caracteristica I-V a celulei fotovoltaice.

Celula fotovoltaică convertește energia primită de la soare în energie electrică (curent continuu), pe care o *transferă* unui circuit electric. În figura 3.3 am prezentat caracteristica curent tensiune a unei celule fotovoltaice. Această figură va sta la baza analizei și discuțiilor viitoare.

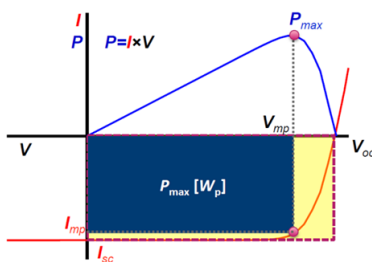


Figura 3.2 – Caracteristica I-V a unei celule fotovoltaice

Randamentul celulei fotovoltaice fiind dat de relația 3.4

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_I} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_I} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_I} \quad (3.2)$$

3.2.2. Construcția celulei fotovoltaice

Celulele fotovoltaice convertește energia solară în energie electrică. Există două modele principale de celule fotovoltaice: celula cu o singură diodă și celula cu două diode. Celula cu o singură diodă folosește dioda Schottky pentru a preveni pierderile de energie în condiții de iluminare slabă. Aceasta îmbunătățește eficiența și performanța celulei prin controlul direcției curentului și prevenirea deteriorării sistemului. Relatiile matematice descriu cum curentul

generat de celula fotovoltaică depinde de tensiunea aplicată, parametrii specifici ai diodei, temperatura și iluminarea. [13], [29], [30], [31]

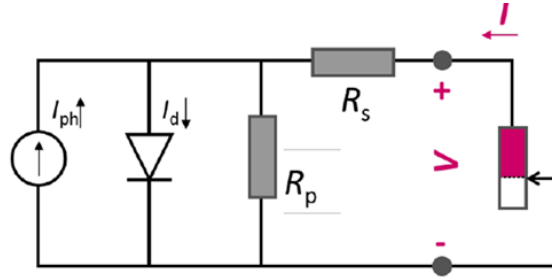


Figura 3.3 – Celula fotovoltaică cu o singură diodă

$$I = I_0 \left(e^{\frac{q(V-I \cdot R_s)}{n \cdot k_B \cdot T}} - 1 \right) + \frac{V-I \cdot R_s}{R_p} - I_{ph} \quad (3.3)$$

Figura 3.4 prezintă modelul celulei fotovoltaice cu două diode. Motivul acestui model este că există două surse de absorbție a curentului într-o celulă fotovoltaică și trebuie modelate separat. Dioda 1 reprezintă curentul de difuzie întunecat. Această diodă are un factor de idealitate de 1, iar dioda 2 reprezintă curentul de recombinare întunecat și va avea un factor de idealitate mai mare decât 1. De multe ori, factorul de idealitate pentru dioda 2 are valoarea 2.

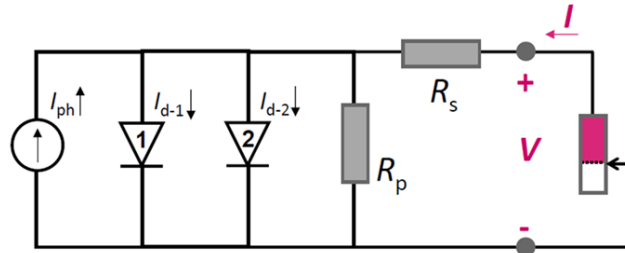


Figura 3.4 – Schema bloc a unei celule fotovoltaice cu două diode

Celulele fotovoltaice cu două diode sunt modele avansate folosite pentru a îmbunătăți precizia în simularea comportamentului celulelor solare în diferite condiții de iluminare și temperatură. Aceste modele adaugă o diodă și o rezistență în plus, făcând ecuația curent-tensiune mai complexă, dar oferind predicții mai precise ale performanței celulelor fotovoltaice. [13], [30], [32], [33], [34]

$$I = I_{01} \left(e^{\frac{q(V-I \cdot R_s)}{n_1 \cdot k_B \cdot T}} - 1 \right) + I_{02} \left(e^{\frac{q(V-I \cdot R_s)}{n_2 \cdot k_B \cdot T}} - 1 \right) + \frac{V-I \cdot R_s}{R_p} - I_{ph} \quad (3.4)$$

3.3. SIMULAREA ÎN PVSYS A MODULELEOR MOBILE DE ALIMENTARE A DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ CU SURSE REGENERABILE DE ENERGIE

3.3.1. Bateriile de acumulatori

Nu putem să vorbim despre alimentarea dronelor de suprafață fără a nu menționa bateriile de acumulatori și caracteristicile acestora. Această secțiune tratează aspecte importante pentru bateriile de acumulatori. Informațiile și graficele aferente au fost obținute prin generarea acestora în programul dedicat PvSyst. [35]

Bateriile de acumulatori reprezintă componente fundamentale în contextul dronelor și al multor alte dispozitive electronice portabile. Aceste surse de energie stocată asigură funcționarea și mobilitatea fără a fi nevoie de o sursă de alimentare constantă, ca de exemplu un diesel-generator. O caracteristică importantă ce influențează operaționalizarea dronei de suprafață este *Capacitatea bateriei*.

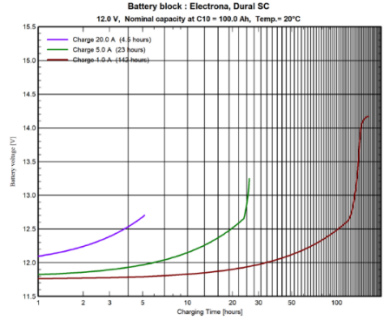


Figura 3.6 – Caracteristica de încărcare a unei baterii cu acumulatori: Tensiune nominală 12 V; Temperatura de funcționare 20°C; Capacitatea bateriei 100 Ah; cu mov este reprezentată caracteristica de încărcare a bateriei la un curent de 20 A (timp de încărcare 4.5 ore); cu verde caracteristica de încărcare a bateriei – curent de 5 A (timp de încărcare 23 ore); cu maro este reprezentată caracteristica de încărcare a bateriei la un curent de 1 A (timp de încărcare 142 ore)

Figura 3.7 prezintă caracteristica de descărcare, pentru trei valori diferite ale curentului, pentru același model de baterie generat de PvSyst. Precum caracteristica de încărcare, caracteristica de descărcare a unei baterii de acumulatori trebuie luată în considerare la momentul achiziției bateriei.

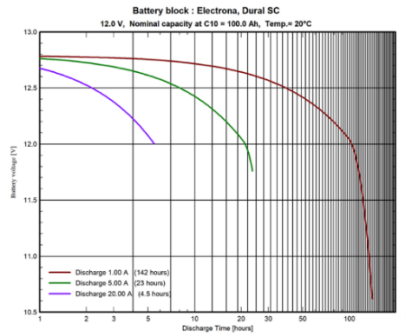


Figura 3.7 – Caracteristica de descărcare a bateriei cu acumulatori.

Din cele două grafice se poate observa că timpul de încărcare al unei baterii cu acumulatori este egal cu timpul de descărcare, în cazul în care valoarea curentului de încărcare este egală cu valoarea curentului de descărcare.

3.3.2. Programul PvSyst

Bateriile de acumulatori sunt esențiale pentru dronele de suprafață, asigurând mobilitatea fără surse de alimentare constante.

$$T_H = T_{Fas} \cdot T_{Diff} \quad (3.5)$$

Modelul Perez reprezintă o metodă mai complexă de transpunere în comparație cu Modelul Hay în cadrul PvSyst. Acest model implică o analiză detaliată a iradiației difuze și a factorilor care contribuie la aceasta. [36], [37]

Calculul transpunerii în acest model (T_{Perez}) este dat de următoarea relație matematică:

$$T_{Perez} = T_{Fas} \cdot T_{Diff} \cdot T_{Hor} \quad (3.6)$$

T_{Hor} – reprezintă transpunerea specifică pentru măsurătorile orizontale în modelul Perez.

Transpunerea este calculată separat pentru fiecare componentă a iradiației. Componenta fasciculară presupune o transpunere pur geometrică (cosinusoidală), care nu se bazează pe niciun model fizic.

Componenta fasciculară (beam) rezultă dintr-o transpunere pur geometrică:

$$Beam_{Inc} = \frac{Beam_{Hor} \sin H_{sol}}{H_{sol}} \quad (3.7)$$

$$Diss_{Inc} = Dif_{f_{Hor}} \left[\frac{(1-K_B)(1+\cos i)}{2} + K_B \sin \left(\frac{H_{sol}}{H_{sol}} \right) \right] \quad (3.8)$$

Radiația reflectată ce ajunge pe un plan colector, așa cum s-a menționat și mai sus, se numește Albedou:

$$Alb_{Inc} = \rho \cdot Glob_{Hor} \cdot \frac{1-\cos i}{2} \quad (3.9)$$

Putem defini indicele K_B astfel:

$$K_B = \frac{Beam_{Hor}}{I_0} \cdot \sin H_{sol} \quad (3.10)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{N_{cs} \gamma \cdot k_B \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (3.11)$$

Fotocurentul I_{ph} într-un sistem fotovoltaic variază în funcție de radiație și temperatură și poate fi determinat în funcție de valorile de referință ale radiației solare și temperaturii.

$$I_{ph} = I_{ph,ref} \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot \left[1 + \beta_{I_{ph}} \cdot (T - T_{ref}) \right] \quad (3.12)$$

PvSyst operează și următoarele modele matematice, pentru a obține o claritate cât mai amplă asupra datelor simulate:

- Curentul de saturație invers al unei diode (celule fotovoltaice în cazul nostru), în funcție de temperatură:

$$I_0 = I_{0,ref} \cdot \frac{T}{T_{ref}} \cdot 3 \cdot e^{\frac{q \cdot E_{Gap}}{\gamma \cdot K_B} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)} \quad (3.13)$$

- tensiunea în circuit deschis a unei celule solare și este derivată din ecuația lui Shockley, care modelează comportamentul diodei într-o celulă solară.

$$V_{OC} = \frac{n K_B T}{q} \ln \left(\frac{J_{PH}}{J_0} + 1 \right) \quad (3.14)$$

- Curentul de scurtcircuit într-o celulă fotovoltaică și este exprimat ca integrala produsului dintre spectrul solar incident ($\Phi_{AM1.5}(\lambda)$), eficiența cuantică a celulei ($EQE(\lambda)$), și încărcătura elementară (q).

$$J_{sc} = q \int_0^\lambda \Phi_{AM1.5}(\lambda) EQE(\lambda) d\lambda \quad (3.15)$$

Astfel modelul matematic descris de ecuația 3.42 poate fi simplificat, obținându-se ecuația:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{n k T}} - 1 \right) \quad (3.16)$$

CAPITOLUL 4. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII UNEI CELULE FOTOVOLTAICE LA VARIATII DE ALBEDO ÎN LabVIEW

4.1.MODELE MATEMATICE DE BAZĂ ÎN FUNCȚIONAREA UNEI CELULE FOTVOLTAICE

Generarea de energie electrică prin panouri fotovoltaice implică modele matematice complexe pentru optimizarea performanței. Simularea funcționării la variații de albedo în LabView folosește ecuațiile din literatura de specialitate și măsurători experimentale. Ecuațiile 4.1 și 4.2 prezintă relațiile curentului la bornele panoului și curentului fotogenerat.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V-I \cdot R_s)}{N_{cs} \cdot k_B \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V - I \cdot R_s}{R_p} \quad (4.1)$$

$$I_{ph} = I_{ph,ref} \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot \left[1 + \beta_{I_{ph}} \cdot (T - T_{ref}) \right] \quad (4.2)$$

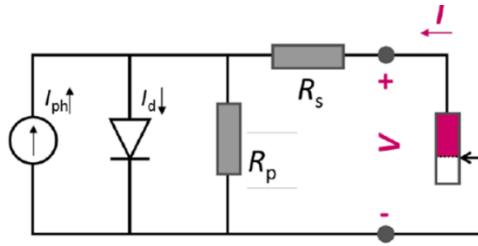


Figura 4.1 – Celula fotovoltaică cu o singură diodă

Tensiunea la bornele panoului fotovoltaic depinde de caracteristicile materialelor folosite și poate fi exprimată prin ecuația:

$$V = N_c \cdot V_c = N_c \cdot \left(n \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{I + I_0}{I_0} \right) \right) \quad (4.3)$$

Unde V reprezintă tensiunea la bornele panoului fotovoltaic, $N_c \cdot V_c$ reprezintă numărul de celule fotovoltaice conectate în serie, respectiv tensiunea unei singure celule, V_T reprezintă valoarea tensiunii termice.

Ecuația curentului fotogenerat (4.2) poate fi scrisă astfel:

$$I_{ph} = \left(I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref}) \right) \cdot \frac{S + S \cdot Alb (1 - \cos \theta)}{S_{ref}} \quad (4.4)$$

Relația 4.4 are avantajul integrării mai multor factori ce influențează producția energiei electrice și oferă o cale de a modela mai precis performanța fotovoltaică, importantă în etape precum: proiectarea, optimizarea și gestionarea eficientă a sistemelor de energie solară. O formă mai simplă a acestei ecuații este prezentată ca ecuația 4.5.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.5)$$

Combinând ecuația curentului, cunoscută ca relația 4.1, cu ecuația curentului fotogenerat, numită relația 4.4, se obține o formulare mai complexă, denumită relația 4.6, care descrie în detaliu comportamentul curentului. Prin substituirea în relația 4.5 a ecuației curentului fotogenerat, adică relația 4.4, rezultă o nouă ecuație, cunoscută ca relația 4.7.

$$I = \left(I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref}) \right) \cdot \frac{S + S \cdot Alb (1 - \cos \theta)}{S_{ref}} - I_0 \left(e^{\frac{q(V - I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V - I \cdot R_s}{R_p} \quad (4.6)$$

$$I = \left(I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref}) \right) \cdot \frac{S + S \cdot Alb (1 - \cos \theta)}{S_{ref}} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.7)$$

$$I_{ph} = (S + S \cdot Alb) \cdot \frac{A \cdot \eta}{S_{ref}} \quad (4.8)$$

$$I_{ph} = S \cdot A \cdot \eta \quad (4.9)$$

Pentru a estima mai precis curentul fotogenerat, se ia în considerare eficiența celulelor fotovoltaice la diferite lungimi de undă și contribuția radiației reflectate de suprafețele învecinate (albedo). Modelul spectral ponderat cu funcția de răspuns spectral a celulei oferă o evaluare mai exactă a curentului generat. [38], [39], [40], [41], [42], [43]

$$I_{ph} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \left((S_{\lambda} \cdot SRF(\lambda) + S_{\lambda} \cdot Alb \cdot SRF(\lambda)) \cdot \eta \cdot A \right) d\lambda \quad (4.10)$$

Ecuția 4.11 reprezintă un model matematic al dependenței curentului fotogenerat de valoarea albedo-ului și randamentul în funcție de temperatură a celulei fotovoltaice.

$$I_{ph} = (S_{dir} + Alb \cdot G_{dir}) \cdot \eta(T) \cdot A \quad (4.11)$$

În literatura de specialitate, regăsim o formulă alternativă pentru curentul fotogenerat (ecuția 4.12), ce este determinată de variabile precum albedo, eficiența panoului fotovoltaic, suprafața acestuia, coeficientul de temperatură (K_i) și temperatura la care operează panoul fotovoltaic.

$$I_{ph} = (S + S \cdot Alb) \cdot \eta \cdot A_{pv} + K_i \cdot (T_{pv} - T_{ref}) \quad (4.12)$$

Pentru a deriva ecuațiile curentului electric generat de un sistem fotovoltaic, vom substitui valoarea curentului fotogenerat, descrisă în ecuațiile anterioare, în forma simplificată a ecuației curentului, cunoscută ca relația 4.5. Această abordare ne va permite să formulăm următoarele modele matematice:

- Înlocuind valoarea curentului fotogenerat I_{ph} din relația 4.8 în relația 4.5 obținem relația 4.13:

$$I = (S + S \cdot Alb) \cdot \frac{A \cdot \eta}{S_{ref}} - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.13)$$

- Înlocuind valoarea curentului fotogenerat I_{ph} din relația 4.9 în relația 4.5 obținem relația 4.14:

$$I = S \cdot A \cdot \eta - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.14)$$

- Înlocuind valoarea curentului fotogenerat I_{ph} din relația 4.10 în relația 4.5 obținem relația 4.15:

$$I = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \left((S_{\lambda} \cdot SRF(\lambda) + S_{\lambda} \cdot Alb \cdot SRF(\lambda)) \cdot \eta \cdot A \right) d\lambda - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.15)$$

- Înlocuind valoarea curentului fotogenerat I_{ph} din relațiile 4.11, respectiv 4.12 în relația 4.5 se obțin relațiile 4.16 respectiv 4.17:

$$I = (S_{dir} + Alb \cdot S_{dir}) \cdot \eta(T) \cdot A - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.16)$$

$$I = (S + S \cdot Alb) \cdot \eta \cdot A_{pv} + K_i \cdot (T_{pv} - T_{ref}) - I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.17)$$

4.2. DETERMINAREA PARAMETRULUI ALBEDO ÎN FUNCȚIE DE VITEZA VÂNTULUI ȘI ÎNĂLȚIMEA VALURILOR.

Albedoul, definit ca raportul dintre energia reflectată și energia incidentă, influențează semnificativ eficiența conversiei energiei solare în sisteme fotovoltaice. În acest context, albedoul poate fi exprimat prin două relații: raportul dintre puterea luminii difuze reflectate și

puterea luminii incidente (ecuația 4.18) sau raportul dintre tensiunea generată de un PV expus la lumina difuză și cea generată de lumina solară directă (ecuația 4.19). [44], [45], [46], [47]

4.2.1. Descrierea procedurii.

Pentru a determina Albedo-ul în funcție de înălțimea valului (m) și viteza vântului ($\frac{m}{s}$) s-a ales metoda măsurătorilor succesive folosind același panou fotovoltaic (caracteristicile panoului și circuitului vor fi prezentate ulterior), în locuri diferite (pe malul lacurilor și al mării) la variații ale înălțimii valului și vitezei vântului.

Pentru acest experiment s-a ales un panou fotovoltaic cu o putere maximă de 10Wp conectat la un circuit de 32Ω pentru a optimiza circuitul.

Pentru o acuratețe cât mai mare a datelor procesul s-a repetat atât pe malul lacului Siutghiol cât și pe malul Mării Negre, folosind același panou fotovoltaic pentru toate măsurătorile (astfel se elimină posibilele erori).

Pentru aflarea albedoului (Alb) se poate utiliza oricare dintre ecuațiile 4.18 respectiv 4.19:

$$Alb = \frac{V_{ref}}{V_{dir}} \quad (4.18)$$

$$Alb = 1 - \frac{\Delta V}{V_{dir}} \quad (4.19)$$

În momentul măsurării tensiunilor s-a notat și viteza vântului, respectiv înălțimea valului. Datele colectate au fost introduse într-un fișier Excel, după care s-au aplicat cele două modele matematice (ec. 4.18; ec. 4.19).

În urma experimentului se poate observa că cei doi parametri hidrometeorologici influențează valoarea albedoului, astfel se poate afirma faptul că albedoul este direct proporțional cu înălțimea valului, respectiv cu viteza vântului.

4.2.2. Determinarea modelului matematic pentru Albedo în funcție de înălțimea valului și viteza vântului.

Pentru realizarea modelului matematic se poate utiliza software-ul Excel. Dar pentru o precizie cât mai mare s-a ales software-ul DIAdem de la National Instruments.

Pentru a determina modelul matematic al influenței unui parametru (în acest caz înălțimea valului) am folosit funcția *APPROXIMATE* din meniul *ANALYSIS*. (Figura 4.2).

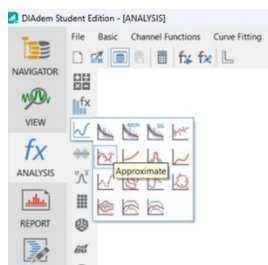


Figura 4.2 – Alegerea funcției pentru generarea modelului matematic

După apelarea funcției *APPROXIMATE* se deschide interfața acesteia. Generarea modelului matematic are la baza crearea unui grafic în sistemul cartezian de coordonate XOY aferent datelor furnizate și generarea automată a unui nou grafic (cărui i se alocă un model matematic) ce se suprapune cu graficul datelor furnizate. – Figura 4.9.

- Pentru axa OX am ales ca parametru înălțimea valului (m);
- Pentru axa OY am ales Albedoul.

După determinarea axelor și generarea modelului matematic se verifică *Coeficientul de determinare*. Pentru acest model matematic coeficientul de determinare este de **0.984** ceea ce înseamnă că modelul matematic determinat pentru influența albedoului în funcție de înălțimea valului are o precizie de **98,4%**.

Partea a II-a este reprezentată de determinarea Albedoului în funcție de viteza vântului. Pentru această etapă am parcurs aceiași pași, cu excepția că axei OX i-am atribuit valoarea vitezei vântului din baza de date. Se poate observa în figura 4.10 generarea modelului matematic generat de software-ul DIAdem pentru dependența Albedoului față de viteza vântului $\left(\frac{m}{s}\right)$ (ecuația 4.21), iar valoare coeficientului de determinare este de 0,996, adică modelul matematic are o precizie de **99,6%**.

În literatura de specialitate regăsim legea lui *Pierson-Moskowitz* care definește dependența valurilor față de vânt. [49], [50], [51] Modelul *Pierson-Moskowitz* reprezintă o formulă empirică care descrie spectrul energetic al valurilor pe mare în condiții de vânt constant pe o durată de timp cunoscută. [52], [53], [54]. Ecuațiile 4.22 și 4.23 descriu acest model:

$$S(f) = \frac{\alpha \cdot g^2}{f^5} \cdot \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{f_0}{f}\right)^4\right) \quad (4.22)$$

$$H_s = 0,21 \frac{U^2}{g} \left(\frac{gX}{U^2}\right)^{0,5} \quad (4.23)$$

Deoarece ne interesează modelul matematic *reunit* al Albedoului, adică dependența Albedoului în funcție de viteza vântului și înălțimea valului vom considera că atât cele două elemente perturbatoare primesc o pondere de 0.5 (adică 50%), deoarece înălțimea valului este direct proporțională cu viteza vântului și contribuie în mod egal la modificarea atmosferei din jurul modulelor mobile (sistemului fotovoltaic), care afectează albedoul suprafeței marine.

$$Alb = \frac{Alb_{val} + Alb_{vânt}}{2} \quad (4.24)$$

4.3. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII UNEI CELULE FOTOVOLTAICE LA VARIAȚII DE ALBEDO ÎN LABVIEW, FOLOSIND MODELUL MATEMATIC DETERMINAT AL ALBEDOULUI ÎN FUNCȚIE DE ÎNĂLȚIMEA VALULUI ȘI VITEZA VÂNTULUI

Introducerea simulării în PvSyst a demonstrat eficiența modulelor fotovoltaice mobile pentru alimentarea dronelor maritime. Ulterior, folosirea LabVIEW a permis modelarea detaliată a ecuațiilor matematice ce corelează viteza vântului și înălțimea valurilor cu albedoul, oferind o simulare precisă a producției de energie electrică.

$$I_{ph} = \left(I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref})\right) \cdot \frac{S + S \cdot Alb \cdot (1 - \cos \theta)}{S_{ref}} \quad (4.27)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1\right) \quad (4.28)$$

Această simulare are ca scop obținerea valorilor curentului generat de celulele fotovoltaice în funcție de ecuația determinată.

Ecuția finală fost scrisă în instrumentalul oferit de National Instruments – Labview (Schema bloc) pentru a oferi valoarea simulată a curentului I.

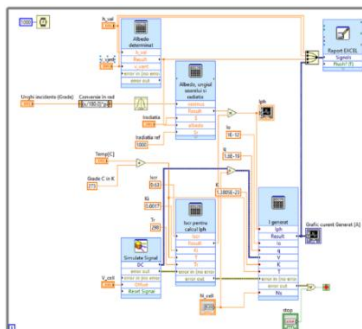


Figura 4.3 – Diagrama bloc a ecuației finale scrisă în fereastra „Block diagram” – LabVIEW

Modelul matematic pentru Albedo ia în considerare viteza vântului și înălțimea valului, fiecare având o pondere de 0.5. Simularea în LabVIEW și PvSyst a demonstrat eficiența modulelor fotovoltaice mobile pentru alimentarea dronelor maritime. Blocurile „Formula” în LabVIEW au fost utilizate pentru a scrie ecuațiile matematice și pentru a calcula curentul generat, având ca date de intrare înălțimea valului, viteza vântului, unghiul soarelui și radiația.



Figura 4.4 – Scrierea ecuației determinate în blocul FORMULA – LabVIEW

Cu toate acestea valoarea radiației locului poate fi modificată în timpul simulării.

Blocul *Formula – Iscr pentru calcul I_{ph}* reprezintă prima parte a formulei 4.27 ($I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref})$). S-a ales împărțirea ecuației 4.27 în două ecuații pentru eliminarea eventualelor erori.

Simularea folosind PvSyst și LabVIEW a arătat eficiența modulelor fotovoltaice mobile pentru alimentarea dronelor maritime. Modelarea matematică a albedoului, luând în considerare viteza vântului și înălțimea valului, a permis calcularea curentului generat de panouri. Datele de intrare includ curentul de scurtcircuit, temperatura panoului, factorul de idealitate și tensiunea la borne. Rezultatele sunt afișate în timp real și salvate într-un raport EXCEL.

Se poate observa că înălțimea valului și viteza vântului, unghiul de incidență și temperatura pot fi setate și modificate de către utilizator. Totodată se pot observa două ferestre ce vor afișa graficul curentului generat; respectiv graficul modelului matematic determinat.



Figura 4.5 – Fereastra front panel în timpul simulării

Figura 4.5 prezintă dependența curentului-generat (I) față de albedo (care este dependent de viteza vântului și înălțimea valului). Se poate observa că graficul curentului se aseamănă cu graficul albedoului. Pentru acest exemplu s-a ales un unghi de incidență de 45° , și s-a pornit cu simularea de la valori de 0 m/s pentru viteza vântului și 0 m pentru înălțimea valului și s-au crescut treptat cele două variabile conform datelor din tablele furnizate de către Direcția Hidrografică Maritimă ce respectă modelul Pierson-Moskowitz.

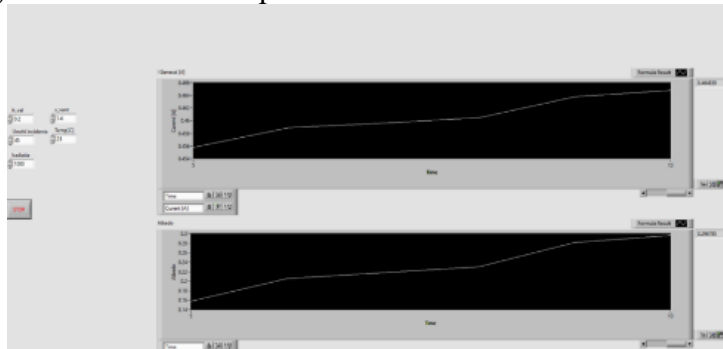


Figura 4.6 – Dependența curentului generat de simulare

Pentru validarea modelului matematic a fost realizată simularea pentru determinarea curentului generat de panoul fotovoltaic la diferite condiții hidrometeorologice (au fost introduse diferite valori pentru viteza vântului și înălțimea valului, respectând valorile furnizate de către Direcția Hidrografică Maritimă și Administrația Națională de Meteorologie) pentru diferite unghiuri de incidență ($10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ și 90° – cazul ideal).

4.4.ANALIZA DATELOR SIMULATE ÎN SOFTWARE-UL DIAdem

Datele obținute din simulările în LabVIEW au fost analizate folosind DIAdem. Analiza a evidențiat dependența curentului generat de un panou fotovoltaic față de albedoul definit de modelul matematic.

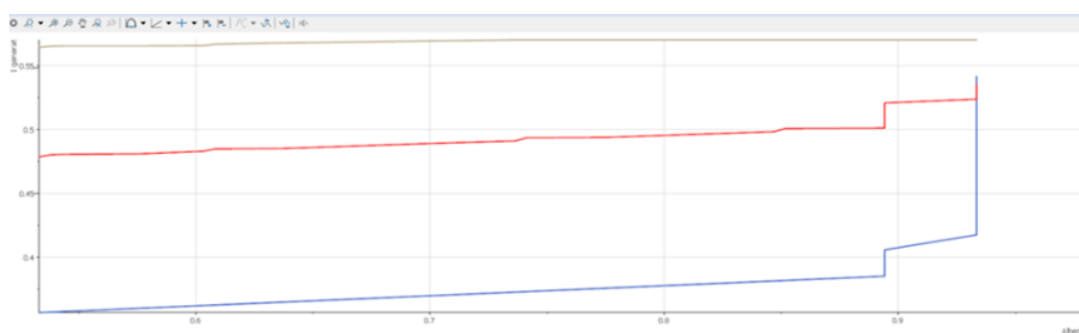


Figura 4.7 – Graficul dependenței curentului generat în urma simulării de un panou fotovoltaic față de albedoul definit de ecuația 4.29 – panou 10Wp

În figura 4.17 graficul marcat cu culoarea **maro** reprezintă valoarea curentului generat de un panou fotovoltaic, conform ecuației 4.30 pentru un **unghi de incidență de 60°** ; culoarea **roșie** reprezintă graficul curentului definit de aceeași ecuație pentru un unghi de incidență de **45°** , iar cu **albastru** este reprezentat graficul curentului pentru o valoare a unghiului de incidență de **30°** . – Panou 10Wp.

Figura 4.8 prezintă dependența curentului generat de un panou fotovoltaic față de Albedo pentru toate cele 10 unghiuri de incidență folosite în simulare (10° , 20° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 70° , 80° și 90° – *cazul ideal*) pentru un panou de 10 Wp. Conform analizei realizată de software-ul DIAdem, se poate observa că Albedoul definit de ecuația 4.29 influențează producția de curent electric pentru toate cazurile, variația/dependența putând fi observată **la valori mai mici de 60°** ale unghiului de incidență, deoarece un unghi mic de incidență al radiației directe, este corespunzător unui unghi mare format de panoul fotovoltaic cu solul, deci influența albedoului crește semnificativ.

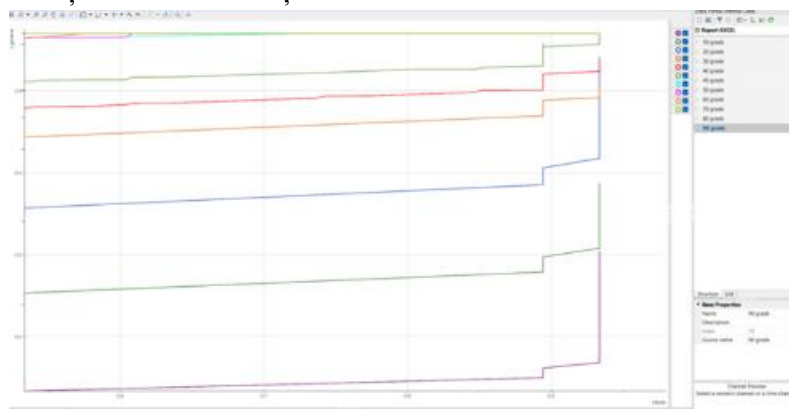


Figura 4.1 – Graficele curentilor generați pentru cele 10 unghiuri folosite în simulare – panou 10Wp (de jos în sus sunt reprezentați curentii pentru cele 10 unghiuri de incidență, în ordine crescătoare)

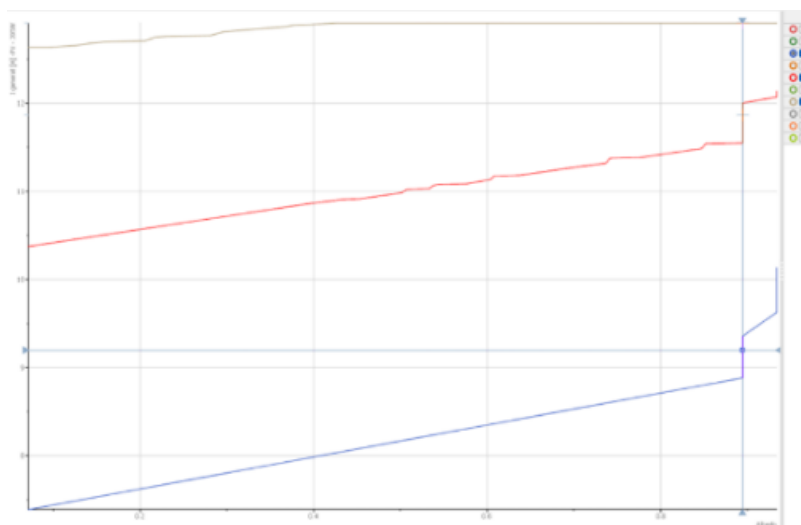


Figura 4.2 – Graficul dependenței curentului generat de un panou fotovoltaic față de albedoul definit – panou 395 Wp

4.5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE

Analiza influenței albedoului asupra performanței panourilor fotovoltaice arată că, la unghiuri de incidență sub 60° , radiația reflectată crește eficiența curentului generat, iar la unghiuri mai mari efectul este neglijabil. Modelul matematic validat permite predicții precise pentru optimizarea modulelor mobile destinate dronelor de suprafață (USV).

CAPITOLUL 5. COMPARAREA DATELOR SIMULATE CU DATE OBTINUTE EXPERIMENTAL (Validarea modelului matematic determinat)

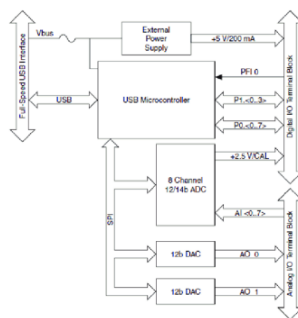
5.1. ACHIZIȚIA DATELOR FOLOSIND SOFTWARE-UL LabVIEW ȘI MODULUL USB 6008

Procesul de achiziție de date a presupus montarea unui panou de 10Wp pe malul lacului Siutghiol, în *Secția de pregătire marinărească și sporturi nautice Palazu-Mare (SPMSN Palazu-Mare)*¹ pe perioada 15.03.2024 – 15.06.2024 conectat la un consumator optim pentru puterea de 10Wp. – Figura 5.1



Figura 5.1 – Panoul fotovoltaic cu o putere de 10Wp montat pe malul lacului – SPMS Palazu-Mare

Software-ul LabVIEW a fost descris în capitolul precedent. Modulul USB 6008 (plăcuță de achiziție date) funcționează ca un convertor analog-digital, având două canale pentru ieșiri analogice (Analog Output), 12 canale pentru intrările și ieșirile digitale (Digital Input/Output - 32biți) și 8 conexiuni pentru Analog Input (Intrări Analogice). Conexiunea cu software-ul LabVIEW se realizează printr-un port USB. [55], [56]



Caracteristicile panoului fotovoltaic de $10Wp$ folosit pentru experiment au fost prezentate în capitolul anterior. Deoarece tensiunea panoului este de $18V$, iar plăcuța folosită pentru achiziția de date (*USB 6008*) poate măsura valori de la $-10V$ la $+10V$ a fost necesar crearea unui divizor de tensiune. În figura 5.3 se poate observa faptul că *USB 6008* este conectată la un astfel de circuit. Pentru puterea de $10Wp$, tensiunea de $18V$ și curentul maxim $I_{mp} = 0,56A$ rezistența optimă a circuitului este de 32Ω . Astfel în momentul funcționării circuitului, la bornele plăcuței *USB 6008* a fost aplicată valoarea înjumătățită a tensiunii. Cu toate acestea *LabVIEW* a fost programat să afișeze valoarea reală a tensiunii și curentului. Acest aspect va fi explicat ulterior, la descrierea software-ului pentru achiziția de date.



Figura 5.4 – Setările plăcuței *USB 6008* în componenta virtuală *DAQ Assistant*

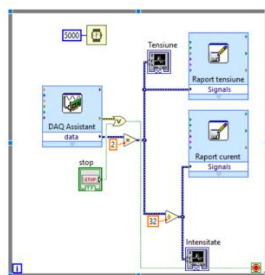


Figura 5.5 – Schema bloc a programului folosit pentru achiziția de date în timp real

Schema bloc a algoritmului pentru realizarea achiziției de date realizat în fereastra *Block Diagram* a software-ului *LabVIEW* este prezentată în figura 5.5. Figura 5.6 prezintă interfața utilizatorului (fereastra *Front Panel*) cu graficele aferente măsurătorilor și achiziției de date în timp real.

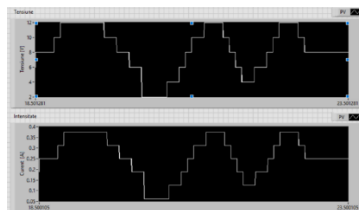


Figura 5.6 – Fereastra *Front Panel* – Graficele *Tensiune-Curent* afișate în timp real pentru achiziția de date

Pentru schema bloc a programului folosit pentru achiziția de date în timp real, tensiunea este măsurată la bornele rezistenței ceramice de putere 15Ω – divizorul de tensiune – de către modul *USB 6008*, valoarea măsurată este dublată (folosind funcția *multiply* cu argumentul 2) pentru afișarea valorii a tensiunii la bornele circuitului.

Semnalul generat este preluat și înregistrat în raportul Excel pentru tensiune, respectiv afișat pe graficul tensiunii; totodată este prelucrat de funcția *Divide* (împărțire) cu valoare de 32 pentru a afla curentul generat de panoul fotovoltaic. Valoarea curentului panoului fotovoltaic este apoi afișată pe graficul *Intensitate*, respectiv înregistrată într-un raport Excel.

Se poate observa în figura 5.7 ca pentru o tensiune de 18V la bornele curentul generat de panoul fotovoltaic are valoarea maximă de 0.56A, conform caracteristicilor furnizate de producător. Acest aspect dovedește că dimensionarea circuitului s-a efectuat corespunzător.

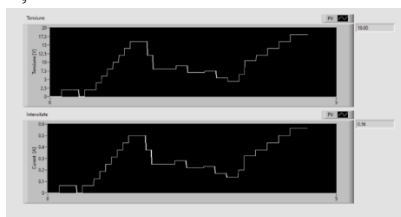


Figura 5.7 – Fereastra Front Panel – valoarea maximă a tensiunii și curentului produs de PV la circuit dimensionat.

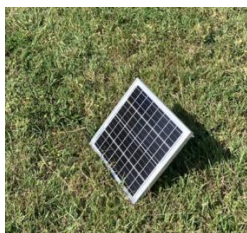


Figura 5.8 – Montarea panoului fotovoltaic pe o suprafață acoperită cu iarbă



Figura 5.9 – Montarea panoului fotovoltaic pe o suprafață acoperită cu bitum/smoală

Pentru determinarea unghiului de incidență al radiației solare pe panoul fotovoltaic s-au folosit fundamentele teoretice, modelele matematice și aplicațiile prezentate în capitolul 3 (secțiunea 3.5 – FUNDAMENTELE GEOMETRIEI SOLARE) – NOAA Solar Position Calculator, SunCalc.org, PlanetCalc.com [58], [59], [60]

Tabelul 5.1 – Valoarea curentului generat pentru diferite unghiuri de incidență [A] – putere panou 10Wp – Suprafață: iarbă – (SPMSN Palazu-Mare)

Nr. Crt.	Valoare Albedo Iarbă	Unghi de incidență [°]	I generat [A]
1.	0,23 – 23%	10	0.1214
2.		20	0.2311
3.		30	0.3323
4.		40	0.4211
5.		45	0.4598
6.		50	0.4988
7.		60	0.5574
8.		70	0.5580
9.		80	0.5530
10.		90	0.5699

Tabelul 5.2 – Valoarea curentului generat pentru diferite unghiuri de incidență [A] – putere panou 10Wp – Suprafață: bitum/smoală -FIM (ANMB)

Nr. Crt.	Valoare Albedo Iarbă	Unghi de incidență [°]	I generat [A]
1.	0,07 – 7%	10	0.1119
2.		20	0.2210
3.		30	0.3205
4.		40	0.3900
5.		45	0.4509
6.		50	0.4870
7.		60	0.5125
8.		70	0.5505
9.		80	0.5570
10.		90	0.5699

5.2.ANALIZA DATELOR OBȚINUTE PRIN ACHIZIȚII DE DATE

Pentru a începe analiza datelor obținute, am decis să reprezint grafic valorile curenților generați de PV – 10Wp pentru suprafața acoperită cu iarbă (Figura 5.10), respectiv pentru suprafața acoperită cu bitum/smoală (Figura 5.11).

Se poate observa din grafic ca valoare curentului generat de panoul fotovoltaic (PV) în funcție de unghiul de incidență al radiației asupra panoului, când acesta se află pe o suprafață acoperită cu iarbă (albedoul de 23%), prezintă o creștere aproape uniformă până la un unghi de incidență de aproximativ 60 de grade, urmat de o ușoară scădere până la valoarea de 80 de grade, urmat apoi de o creștere, atingând valoarea maximă la un unghi de incidență de 90 de grade.

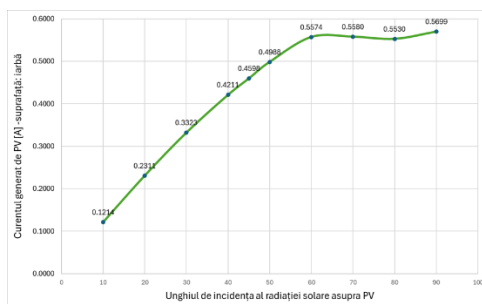


Figura 5.10 – Graficul curentului generat de PV pentru suprafața acoperită cu iarbă

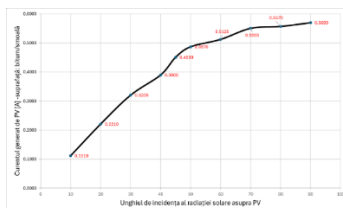


Figura 5.11 – Graficul curentului generat de PV pentru suprafața acoperită cu bitum/smoală

Curentul generat de panoul fotovoltaic montat pe acoperișul FIM (suprafață – bitum) începe de la o valoare mai mică în comparație cu valoarea curentului generat de o suprafață acoperită cu iarbă (datorită diferenței de albedo), dar ambele grafice ating valori maxime similare la un unghi de incidență de 90 de grade. Pe suprafața de iarbă, curentul atinge maximum la aproximativ 60 de grade, iar pe bitum la aproximativ 70 de grade.

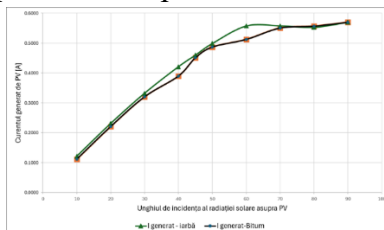


Figura 5.12 – Graficul celor doi cureni

Valorile curentului generat de un panou fotovoltaic la diferite unghiuri de incidență ale radiației solare, în anumite condiții hidrometeorologice prezentate în tabelul 5.1, am realizat graficul curenților aferent fiecărui unghi de incidență – figura 5.13.

Graficul curenților simulați și curenților reali pentru un panou fotovoltaic cu o putere de 10Wp amplasat pe malul lacului se poate observa în figura 5.14, iar valorile acestora sunt prezentate în tabelul 5.4.

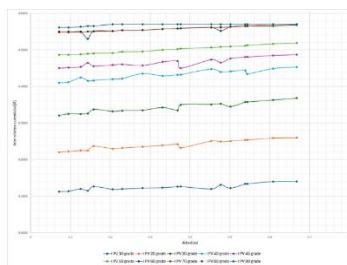


Figura 5.13 – Graficul curenților generați de panoul fotovoltaic de 10 Wp pentru diferite unghiuri de incidență ale radiației solare

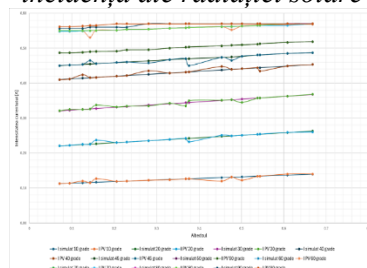


Figura 5.14 – Graficul curenților generați și simulați de/pe panoul fotovoltaic de 10 Wp pentru diferite unghiuri de incidență ale radiației solare

Pentru figura 5.13 putem observa că valorile curenților pentru unghiuri mari de incidență ale radiației solare (60° – 90°) sunt aproape identice, iar graficele se suprapun. Totodată analizând datele din tabel 5.1; tabelul 5.4 și graficele prezentate în figurile 5.13 și 5.14 se poate observa că dependența curenților (fie ei simulați sau reali) față de valoarea albedoului determinat este prezentă pentru toate unghiurile de incidență ale radiației solare pe panou, dar la valori mari ale unghiului de incidență (60° – 90°) influența albedoului pentru producția de energie electrică este nesemnificativă.

Pentru o analiză mai detaliată și mai amănunțită am ales ca rezultatele prezentate în figura 5.14 să fie separate în două figuri. Prima figura (figura 5.15) prezintă valorile curenților simulați și generați pentru/pe panoul fotovoltaic pentru valori ale unghiului de incidență

cuprinse între 10° și 50° , iar în ce-a de a II-a figură (figura 5.16) am ales să reprezint valorile curenților simulați și generați pentru valori ale unghiului de incidență cuprinse între 60° și 90° .

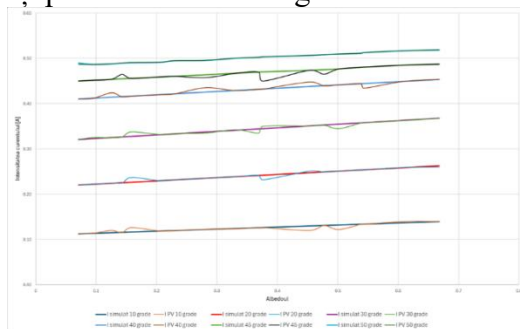


Figura 5.15 – Graficul curenților simulați/generați pentru/de un PV pentru valori ale unghiului de incidență cuprinse între 10° și 50°

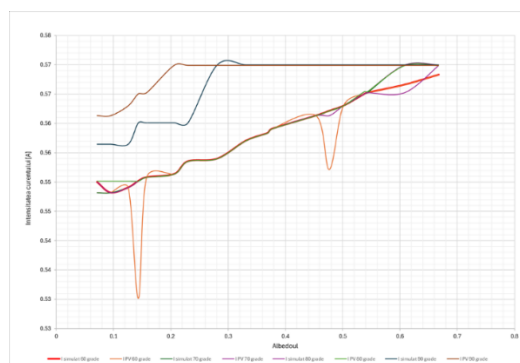


Figura 5.16 – Graficul curenților simulați/generați pentru/de un PV pentru valori ale unghiului de incidență cuprinse între 60° și 90°

În figura 5.16 se poate observa dependența curentului față de albedou pentru valori ale unghiului de incidență cuprinse între 60° și 90° . Din analiza celor două figuri (5.15, respectiv 5.16) se observă că albedoul (în speță viteza vântului și înălțimea valului) influențează producția de energie electrică a unui panou fotovoltaic la unghiuri de incidență ale radiației mai mici de 80° . În general valoarea unghiului radiației directe cu un panou fotovoltaic, pe timpul verii are o valoare medie de 60° pe durata unei zile. Acest aspect întărește ideea unei previziuni asupra producției de energie electrică în ceea ce privește modulele mobile de alimentare cu energie electrică a dronelor de suprafață, iar modelul matematic determinat (ecuația 5.2) contribuie în mod deosebit la acest aspect.

Pentru a calcula valoarea erorii generale, am realizat media aritmetică pentru fiecare eroare individuală, obținând astfel **Eroarea Absolută Medie**, cu o valoare de **0.011**, și **Eroarea Relativă Medie**, având o valoare de **4,17%**. Aceste valori reflectă acuratețea și precizia modelului matematic determinat.

În urma simulărilor efectuate, a achiziției de date și a analizei detaliate, pot afirma cu încredere că modelul matematic elaborat, care ia în considerare influența vitezei vântului și a înălțimii valului, a fost validat cu o precizie remarcabilă. Conform predicțiilor realizate în capitolul anterior utilizând software-ul DIAdem, modelul a demonstrat o acuratețe de **98%**, iar validarea cu datele reale a indicat o precizie de aproximativ **96%**.

Eroarea Absolută Medie de **0.011** și Eroarea Relativă Medie de **4,17%** indică o deviere minimă între valorile simulate și cele reale, ceea ce sugerează că modelul poate fi utilizat cu încredere pentru predicții și aplicații în contextul modulelor mobile de alimentare cu energie electrică a dronelor de suprafață folosind surse regenerabile de energie.

Prin urmare, concluzionez că modelul matematic determinat este capabil să prezică cu acuratețe comportamentul sistemului analizat, validându-se astfel în mod satisfăcător și demonstrând o precizie considerabilă atât în simulări, cât și în măsurători experimentale. Acest fapt evidențiază valoarea adăugată a modelului matematic și justifică utilizarea acestuia în analize și predicții viitoare, asigurând precizie în procesul de decizie al misiunii unei drone.

5.3. MODULE MOBILE DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A DRONELOR DE SUPRAFAȚĂ CU SURSE REGENERABILE

Deoarece modelul matematic determinat a fost validat am decis să realizez un demonstrator pentru un astfel de sistem și să îl montez pe malul lacului Siutghiol, în interiorul *SPMSN Palazu-Mare*. Figura 5.20 prezintă locația unde a fost montat și realizat proiectul.[61]

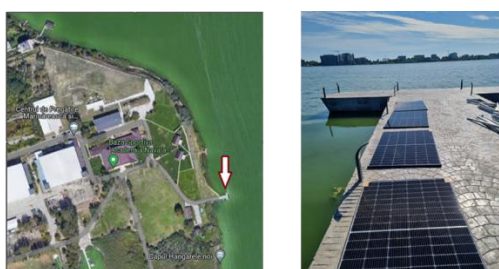


Figura 5.17 – Locația de montare și funcționarea a demonstratorului „Module mobile de alimentare cu energie electrică a dronelor de suprafață

Echipamentele folosite pentru realizarea demonstratorului:

- 4 panouri fotovoltaice – Canadian Solar 395 MS; caracteristicile panourilor se regăsesc în tabelul 5.8, iar acestea se pot vedea în figura 5.20;
- MPPT 150/45 (Figura 5.22) – caracteristicile sunt prezentate în tabelul 5.9.
- Suport mobil panouri fotovoltaice (desenul tehnic; sport montat pe malul lacului – Figura 5.23);
- Baterii Litiu-fier-fosfat – 25,6V, 200Ah – figura 5.24; caracteristicile sunt prezentate în tabelul 5.10
- Invertor 48V – Figura 5.24.

Toate materialele au fost achiziționate din fondurile *Ministerului Apărării Naționale*, în cadrul proiectului (pentru care ocup funcția de director proiect) „*Module mobile de producere și stocare a energiei electrice folosind surse regenerabile*” **COD PROIECT: PSCD-I-2024-89 POZIȚIE PLAN 89.**

Tabelul 5.3 – Caracteristicile panoului fotovoltaic cu o putere de 395Wp

Nr. Crt.	Caracteristicile panoului fotovoltaic	Valoarea
1.	Putere maximă (P_{max})	395 Wp
2.	Eficiența panoului	20.2%
3.	Tensiunea pentru funcționarea în gol	36.6V
4.	Tensiunea pentru furnizarea puterii maxime (V_{mp})	30.6V
5.	Curentul de scurt circuit I_{sc}	13.77A
6.	Curentul maxim (I_{mp})	12,91A
7.	Tipul celulelor	Monocristal
8.	Greutate	21,3kg

Nr. Crt.	Caracteristicile panoului fotovoltaic	Valoarea
9.	Număr de celule	108
10.	Toleranța de putere	0 – +10W

Diagrama Curent-Tensiune pentru acest tip de panouri în funcție de valoarea iradiației solare și valoarea temperaturii panoului fotovoltaic este prezentată în figura 5.21.[62]

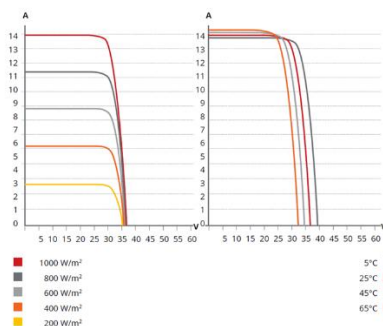


Figura 5.18 – Diagrama Curent – Tensiune specifică panoul utilizat pentru realizarea demonstratorului [62]



Figura 5.19 – MPPT 150/45 – în curs de conectare la circuit

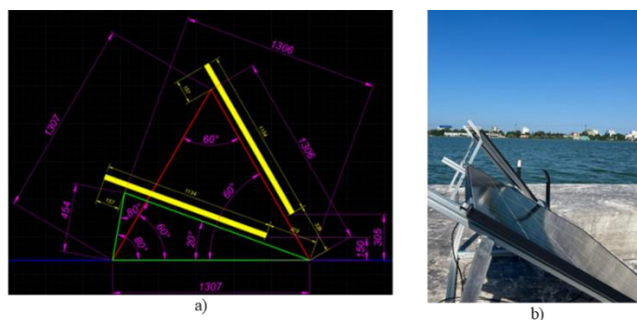


Figura 5.20 – Desenul tehnic al suportului pentru panourile fotovoltaice (realizat în AutoCAD) și suportul panourilor montat la poziție

Din figura 5.23 se poate observa că unghiul format de PV cu solul, implicit cu razele Soarelui poate fi modificat în funcție de situația hidrometeorologică în momentul când sistemul este pus în funcțiune. Pentru figura 5.23 b) am pus panourile fotovoltaice la unghiuri diferite, doar pentru a dovedi posibilitatea modificării unghiului panoului. Pe timpul desfășurării experimentului toate panourile au fost setate la aceeași poziție pe suportul mobil.

Bateriile LiFePO₄ sunt cele mai sigure baterii litiu ion de pe piață. Tensiunea nominală a unei celule LiFePO₄ este 3,2V, spre deosebire de 2 V la bateriile pe acid, astfel ca o baterie de 12,8V conține 4 celule conectate în serie, iar o baterie de 25,6V conține 8 celule conectate în serie.[63], [64]

Nu este necesar ca o baterie LiFePO₄ să fie încărcată complet. Durata de viață a unei astfel de baterii sa îmbunătățește în cazul unei încărcări parțiale decât a uneia întregi, acesta fiind și marele avantaj față de bateriile pe acid.[63], [64]

Alte avantaje sunt intervalele mari de temperatură în care poate funcționa, performanța excelentă la numărul de cicluri, rezistența internă mică și eficiența ridicată, aceasta fiind de 92%.

Se pot monitoriza tensiunile celulelor, temperatura, și situația erorilor prin intermediul Bluetooth-ului, acesta fiind foarte folositor pentru a localiza o potențială problemă, cum ar fi debalansarea celulelor.[63], [64]



Figura 5.21 – Bateriile LiFePO₄ și invertorul folosite în proiect

Datele obținute în urma simulării sunt prezentate în capitolul precedent pentru acest tip de panou fotovoltaic.

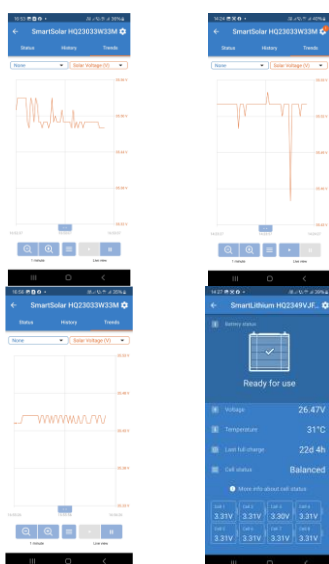


Figura 5.25 – Monitorizarea datelor în timp real, prin conexiunea bluetooth a telefonului mobil la MPPT și baterii

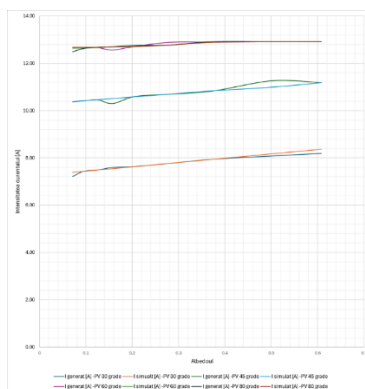


Figura 5.26 – Dependenta curentului față de albedoul determinat, conform modelului matematic definit de ecuația 5.1 – PV 395Wp

În urma simulărilor efectuate, achiziției de date și analizei detaliate, pot afirma cu încredere că modelul matematic dezvoltat, care ia în considerare influența vitezei vântului și înălțimii valurilor (ecuația 5.1), a fost validat cu o precizie deosebită. Conform predicțiilor realizate în capitolul precedent folosind software-ul DIAdem, modelul a demonstrat o acuratețe de **98%**, iar validarea cu datele reale a indicat o precizie de aproximativ **96%** pentru primul experiment și o precizie de **98,7%** pentru cel de al doilea experiment.

Eroarea Absolută Medie de **0.135** și Eroarea Relativă Medie de **1.306%** indică o discrepanță minimă între valorile simulate și cele reale, sugerând că modelul poate fi utilizat cu încredere pentru predicții și aplicații în contextul modulelor mobile de alimentare cu energie electrică pentru dronele de suprafață, utilizând surse regenerabile de energie.

Astfel, concluzionez că modelul matematic determinat este capabil să prezică cu acuratețe comportamentul sistemului analizat, validându-se în mod satisfăcător și demonstrând o precizie semnificativă atât în simulări, cât și în măsurători experimentale. Acest fapt subliniază valoarea adăugată a modelului matematic și justifică utilizarea sa în analize și predicții viitoare, asigurând precizie în procesul de luare a deciziilor pentru misiunile dronelor de suprafață.

CAPITOLUL 6. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE

6.1. CONCLUZII

Cercetările au demonstrat că modulele mobile de alimentare cu energie regenerabilă sunt fiabile și eficiente pentru dronele de suprafață. Modelul matematic dezvoltat pentru a prezice albedoul și curentul generat de panourile fotovoltaice a fost validat cu o acuratețe de până la 98,7%. Aceste module asigură independența energetică și contribuie la reducerea impactului asupra mediului.

6.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

Contribuțiile personale aduse de această lucrare sunt variate și substanțiale, având impact atât teoretic, cât și practic. Prima contribuție majoră este dezvoltarea unui model matematic inovator care prezice albedoul și curentul generat de panourile fotovoltaice în funcție de viteza vântului și înălțimea valului. Acest model matematic oferă o metodă precisă și fiabilă pentru estimarea producției de energie în condiții variate, ceea ce poate optimiza funcționarea sistemelor fotovoltaice în zone maritime și fluviale.

Pe lângă modelul teoretic, am realizat și validat practic un modul mobil de alimentare cu energie regenerabilă pentru dronele de suprafață. Aceasta a implicat dezvoltarea, testarea și optimizarea unui sistem integrat de generare și stocare a energiei, utilizând panouri fotovoltaice și baterii LiFePO₄. Rezultatele obținute în urma experimentelor practice au confirmat eficiența și fiabilitatea acestui sistem, demonstrând capacitatea de a funcționa independent de rețelele tradiționale de energie.

De asemenea, lucrarea contribuie la cunoașterea și înțelegerea influenței condițiilor meteorologice asupra performanței panourilor fotovoltaice. Prin analiza detaliată a datelor experimentale și simularea acestora, am putut oferi recomandări practice pentru optimizarea orientării și montării panourilor în funcție de condițiile specifice ale locațiilor de operare.

Nu în ultimul rând, această lucrare reprezintă un pas important către adoptarea pe scară largă a surselor regenerabile de energie pentru alimentarea dronelor de suprafață, promovând sustenabilitatea și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră.

6.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE

Perspectiva dezvoltării viitoare a acestei cercetări este extrem de promițătoare și deschide numeroase oportunități de extindere și inovare. Un domeniu cheie de dezvoltare este extinderea aplicabilității modulelor mobile de alimentare cu energie regenerabilă la alte tipuri de drone și aplicații maritime. Aceasta ar putea include, de exemplu, navele mici de cercetare hidrografică sau echipamentele de monitorizare.

În plus, integrarea tehnologiilor avansate de stocare a energiei, cum ar fi bateriile de nouă generație și supercondensatoarele, pot îmbunătăți considerabil eficiența și capacitatea de stocare a acestor module. De asemenea, dezvoltarea unor algoritmi de optimizare pentru gestionarea energiei ar putea maximiza performanța și fiabilitatea sistemelor în condiții variate.

O altă direcție importantă este aprofundarea studiilor climatice pentru a înțelege mai bine influența condițiilor meteorologice extreme asupra performanței panourilor fotovoltaice. Aceste studii pot conduce la adaptarea modelelor matematice și a strategiilor de montare pentru a asigura performanțe optime în orice condiții.

O completare relevantă la perspectiva de dezvoltare ar fi implementarea unui sistem hibrid, care să combine panourile fotovoltaice cu o turbină eoliană de dimensiuni reduse. Acest sistem ar permite generarea continuă de energie, chiar și în condiții meteorologice nefavorabile pentru energia solară, maximizând astfel autonomia și eficiența modulelor mobile. Integrarea celor două surse regenerabile ar asigura o mai mare flexibilitate operațională și o adaptabilitate sporită în diverse medii maritime, oferind totodată un model sustenabil pentru utilizarea energiei regenerabile în aplicațiile maritime și costiere.

De asemenea, există un potențial semnificativ pentru colaborarea interdisciplinară și dezvoltarea unor proiecte pilot în cooperare cu industria și instituțiile de cercetare. Aceste proiecte ar putea viza testarea și implementarea pe scară largă a modulelor mobile în diferite medii și aplicații, oferind date valoroase pentru îmbunătățirea continuă a tehnologiilor.

În concluzie, cercetările și inovațiile prezentate în această lucrare deschid calea către noi oportunități și dezvoltări în domeniul energiei regenerabile și al dronelor de suprafață.

Implementarea acestor tehnologii poate contribui semnificativ la un viitor sustenabil și la reducerea impactului negativ asupra mediului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] "Tesla's Inventions 3D – Nikola Tesla Museum." Accessed: Jun. 17, 2024. [Online]. Available: <https://tesla-museum.org/en/nikola-tesla-2/teslas-inventions-3d/>
- [2] "Nikola Tesla and the Wireless World: The Invention of Remote Control - The Bowery Boys: New York City History." Accessed: Jun. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.boweryboyshistory.com/2017/03/nikola-tesla-wireless-world-invention-remote-control.html>
- [3] R. Chen, C. Yang, S. Han, and J. Zheng, "Dynamic path planning of USV with towed safety boundary in complex ocean environment," *Proceedings of the 33rd Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2021*, pp. 71–76, 2021, doi: 10.1109/CCDC52312.2021.9602804.
- [4] J. Li and G. Zhang, "Dynamic surface control for path following of the USV-UAV with time-varying disturbances," *2022 34th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, pp. 3115–3120, Aug. 2022, doi: 10.1109/CCDC55256.2022.10033603.
- [5] F. M. Raimondi, M. Trapanese, V. Franzitta, and V. Di Dio, "Identification of the inertial model for innovative semi-immersible USV (SI-USV) drone for marine and lakes operations," *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*, Feb. 2016, doi: 10.23919/OCEANS.2015.7404555.
- [6] Z. Liu, Y. Zhang, X. Yu, and C. Yuan, "Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges," *Annu Rev Control*, vol. 41, pp. 71–93, 2016, doi: 10.1016/J.ARCONTROL.2016.04.018.
- [7] M. Breivik, V. E. Hovstein, and T. I. Fossen, "Straight-line target tracking for unmanned surface vehicles," *Modeling, Identification and Control*, vol. 29, no. 4, pp. 131–149, 2008, doi: 10.4173/MIC.2008.4.2.
- [8] N.-S. Popa, C. Popa, V. Mocanu, and L.-M. POPA, "State of the Art in Battery Technology: Innovations and Advancements," *Journal of Marine Technology and Environment*, pp. 81–85, 2023.
- [9] O. Cristea, N.-S. Popa, M.-G. Manea, and C. Popa, "About the Automation of an Autonomous Sail-propelled Search Drone," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 13, no. 6, pp. 12334–12341, 2023.
- [10] N.-S. Popa, A. POPESCU, V. Mocanu, M. TĂRHOACĂ, and C. Popa, "Producing electricity on board a ship in motion or stationary using photovoltaic panels.," *Technium*, vol. 14, 2023.
- [11] V. MOCANU, M. O. POPESCU, and N.-S. P. VasileDOBREF, "OPTIMIZATION OF COIL INDUCTANCE EQUATIONS USED IN WIRELESS POWER TRANSFER FOR DRONE CHARGING".
- [12] N.-S. Popa, M.-O. Popescu, and V. Mocanu, "State of the Art-Drones/Surface Platforms and Green Energy," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2023, p. 012004.
- [13] IRENA, *Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper)*, vol. November. 2019. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf
- [14] N.-S. Popa and C. Popa, "Li-Ion battery discharge study," *Scientific Bulletin" Mircea cel Batran" Naval Academy*, vol. 24, no. 2, pp. 1–8, 2021.
- [15] A. Sciences, "Off-grid Solar Power Systems in Rural Areas," 2017.
- [16] A. Zablocki, *Energy Storage. Fundamentals, Materials and Apps*, vol. 2040, no. February. 2019.
- [17] M. R. Patel, "Wind and solar power systems: Design, analysis, and operation, second edition," *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, Second Edition*, pp. 1–448, 2005, doi: 10.2134/jeq2006.0001br.
- [18] T. Song, L. Ottoson, J. Gallon, D. J. Friedman, and N. Kopidakis, "Reliable Power Rating of Perovskite PV Modules," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 367–371, 2021, doi: 10.1109/PVSC43889.2021.9518841.
- [19] P. V. Rosu, A. T. Plesca, G. Gabor, and G. Chiriac, "Optimizing the Operation of Photovoltaic Panel Systems," *EPE 2020 - Proceedings of the 2020 11th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, no. Epe, pp. 318–321, 2020, doi: 10.1109/EPE50722.2020.9305534.
- [20] A. Mallama, B. Krobusek, and H. Pavlov, "Comprehensive wide-band magnitudes and albedos for the planets, with applications to exo-planets and Planet Nine," *Icarus*, vol. 282, pp. 19–33, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.icarus.2016.09.023.
- [21] A. K. Betts and J. H. Ball, "Albedo over the boreal forest," *J Geophys Res*, vol. 102, no. D24, pp. 28, 901–28, 910, Dec. 1997, doi: 10.1029/96JD03876.

- [22] C. T. Ruhland and J. A. Niere, "The effects of surface albedo and initial lignin concentration on photodegradation of two varieties of *Sorghum bicolor* litter," *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, p. 18748, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-55272-x.
- [23] "Sistemul Energetic National - Transelectrica." Accessed: Jan. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.transelectrica.ro/web/tel/sistemul-energetic-national>
- [24] Y. Hou, K. Kang, Y. Xiong, X. Liang, and L. Su, "Uncertainty optimisation design of USV based on the Six Sigma method," *Ocean Engineering*, vol. 200, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107045.
- [25] M. Toll, "DIY Lithium Batteries How to Build Your Own Battery Packs Written by Micah Toll," 2017.
- [26] V. N. Duy and H. M. Kim, "Review on the hybrid-electric propulsion system and renewables and energy storage for unmanned aerial vehicles," *Int J Electrochem Sci*, vol. 15, pp. 5296–5319, 2020, doi: 10.20964/2020.06.13.
- [27] M. Toll, "DIY Lithium Batteries How to Build Your Own Battery Packs Written by Micah Toll," 2017.
- [28] "Células Fotovoltaicas por Juan Carlos Ferrer | PPT." Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/slideshow/clulas-fotovoltaicas-por-juan-carlos-ferrer/21318142#5>
- [29] P. Vanderhulst, H. Lanser, P. Bergmeyer, and R. Albers, "Solar energy: small scale applications in developing countries," *Int Food J*, vol. 8, no. c, pp. 138–145, 1990.
- [30] S. Sumathi, L. Ashok Kumar, and P. Surekha, *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems: Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques*. 2015. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-14941-7>
- [31] O. Cristea, "Testing of PV module efficiency in naval conditions," *2013 - 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2013*, 2013, doi: 10.1109/ATEE.2013.6563534.
- [32] P. Carolyn. Roos, "Solar Electric System Design , Operation and Installation," *Washington State University Extension Energy Program*, no. October, p. 35, 2009, [Online]. Available: www.energy.wsu.edu
- [33] Anon., "Fundamental Properties of Solar Cells, Principles and Varieties of Solar Energy," no. Phys 4400, p. 13, 2012.
- [34] "Instalarea sistemelor fotovoltaice", [Online]. Available: www.pvtrin.eu
- [35] "PVsyst – Photovoltaic software." Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/>
- [36] M. Flores-Nicolás, M. M. Reyes, F. O. S. Hernández, and C. P. Martínez, "Implementation of the new multidisciplinary gradual model for the development of a didactic sequence under Blum's modeling cycle approach in descriptive statistics," *2021 Mexican International Conference on Computer Science, ENC 2021*, Aug. 2021, doi: 10.1109/ENC53357.2021.9534766.
- [37] M. K. Da Silva, D. I. Narvaez, K. B. De Melo, and M. G. Villalva, "Comparative analysis of transposition models applied to photovoltaic systems using meteorological and NASA SSE databases," *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2018 - Proceedings*, pp. 237–241, Jul. 2019, doi: 10.1109/INDUSCON.2018.8627354.
- [38] V. A. Martinez Lopez, G. van Urk, P. J. F. Doodkorte, M. Zeman, O. Isabella, and H. Ziar, "Using sky-classification to improve the short-term prediction of irradiance with sky images and convolutional neural networks," *Solar Energy*, vol. 269, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.solener.2024.112320.
- [39] D. Yang *et al.*, "Regime-dependent 1-min irradiance separation model with climatology clustering," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.rser.2023.113992.
- [40] M. J. Marín, D. Serrano, M. P. Utrillas, M. Núñez, and J. A. Martínez-Lozano, "Effective cloud optical depth and enhancement effects for broken liquid water clouds in Valencia (Spain)," *Atmos Res*, vol. 195, pp. 1–8, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.atmosres.2017.05.008.
- [41] C. A. Gueymard, "Cloud and albedo enhancement impacts on solar irradiance using high-frequency measurements from thermopile and photodiode radiometers. Part 1: Impacts on global horizontal irradiance," *Solar Energy*, vol. 153, pp. 755–765, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.SOLENER.2017.05.004.
- [42] G. R. Timilsina, L. Kurdgelashvili, P. A. N. The, and W. Bank, "A Review of Solar Energy Markets, Economics and Policies," 2011. [Online]. Available: <http://econ.worldbank.org>.
- [43] *Solar energy: small-scale applications in developing countries*. TOOL Foundation, 1990.
- [44] Y. Li *et al.*, "Interannual variability of the surface summertime eastward jet in the South China Sea," *J Geophys Res Oceans*, vol. 119, no. 10, pp. 7205–7228, Oct. 2014, doi: 10.1002/2014JC010206.

- [45] W. Munk and C. Cox, "Measurement of the Roughness of the Sea Surface from Photographs of the Sun's Glitter," *JOSA*, Vol. 44, Issue 11, pp. 838-850, vol. 44, no. 11, pp. 838-850, Nov. 1954, doi: 10.1364/JOSA.44.000838.
- [46] F. M. Bréon and N. Henriot, "Spaceborne observations of ocean glint reflectance and modeling of wave slope distributions," *J Geophys Res Oceans*, vol. 111, no. C6, p. 6005, Jun. 2006, doi: 10.1029/2005JC003343.
- [47] W. S. Broecker *et al.*, "How much deep water is formed in the Southern Ocean?," *J Geophys Res Oceans*, vol. 103, no. C8, pp. 15833-15843, Jul. 1998, doi: 10.1002/(ISSN)2156-2202C.
- [48] "What Is DIAdem? - NI." Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition-and-control/application-software-for-data-acquisition-and-control-category/what-is-diadem.html>
- [49] "Pierson-Moskowitz Spectrum - an overview | ScienceDirect Topics." Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pierson-moskowitz-spectrum>
- [50] Y. Bai and W.-L. Jin, "Wave Loads for Ship Design and Classification," *Marine Structural Design*, pp. 73-93, 2016, doi: 10.1016/B978-0-08-099997-5.00005-8.
- [51] G. E. Hearn and A. V Metcalfe, "Motions of moored structures in a seaway," *Spectral Analysis in Engineering*, pp. 208-232, 1995, doi: 10.1016/B978-034063171-3/50011-7.
- [52] M. Karimirad and Z. Jiang, "2.08 - Mechanical-Dynamic Loads," *Comprehensive Renewable Energy, Second Edition: Volume 1-9*, vol. 1-2, pp. 194-225, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-819727-1.00075-3.
- [53] "3 Ocean waves," *Elsevier Ocean Engineering Series*, vol. 4, no. C, pp. 43-122, 2001, doi: 10.1016/S1571-9952(01)80005-2.
- [54] M. A. Hanif, F. Nadeem, R. Tariq, and U. Rashid, "Power generation by ocean energy," *Renewable and Alternative Energy Resources*, pp. 359-430, 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-818150-8.00002-2.
- [55] "USB-6008 National Instruments Multifunction I/O Device | Apex Waves." Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: https://www.apexwaves.com/modular-systems/national-instruments/usb-multifunction-devices/USB-6008?matchtype=c&network=g&device=c&keyword=usb-6008&campaign=17954270381&adgroup=138410153943&gclid=CjwKCAjwtp2bBhAGEiwAOZZTuB_EELMon7Xxbo05rAxly9t-71yUGYYKN5C2_GpxILU007nnoHh-mxoC1QEQA_VD_BwE
- [56] P. By ALLDATASHEETCOM, "Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB-12-or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs."
- [57] "USB-6008 block diagram [5] | Download Scientific Diagram." Accessed: Jun. 07, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/USB-6008-block-diagram-5_fig4_341090594
- [58] "Solar Position Calculator." Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/azel.html>
- [59] "SunCalc - sunrise, sunset, shadow length, solar eclipse, sun position, sun phase, sun height, sun calculator, sun movement, map, sunlight phases, elevation, Photovoltaic system, Photovoltaic." Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.suncalc.org/#/43.9947,28.6491,14/2024.06.14/16:29/1/1>
- [60] "Online calculator: Sun position." Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://planetcalc.com/318/>
- [61] "Google Maps." Accessed: Jun. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@44.2314154,28.6113685,670m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- [62] C. Solar Co Ltd, "PARTNER SECTION ENGINEERING DRAWING (mm) Rear View Mounting Hole CS6R-405MS / I-V CURVES." [Online]. Available: www.csisolar.com,
- [63] "Acumulator fotovoltaice Litiu LiFePo4 25.6V 200Ah Smart, Victron - SolarTech Fotovoltaice." Accessed: Jun. 10, 2024. [Online]. Available: https://solartech.ro/acumulator-fotovoltaice-litiu-lifepo4-25-6v-200ah-smart-victron-copiaz/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=google_test&utm_medium=cpc&utm_term=13658&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVEbvA1dtXRnkgSUAL3nrWV6KriM1h8jIH6reEe1ZVOjtmjmjima2OxxoC5GIQAvD_BwE
- [64] "Datasheet-12,8-&-25,6-Volt-lithium-iron-phosphate-batteries-Smart-RO".

