

Universitatea Nationala de Stiinta si Tehnologie
POLITEHNICA Bucuresti
Școala Doctorală de Inginerie Energetică
Facultatea de Inginerie Energetică



Rezumatul Tezei de Doctorat

Soluții de Alimentare a Consumatorilor Locali din Surse Regenerabile

Autor: Drd. Ing. Mohammed Gmal Osman Abdelfadeel

Coordonator Științific: Prof. Dr. Ing. Gheorghe LAZAROIU

București

2024



Universitatea Nationala de Stiinta si
Tehnologie POLITEHNICA Bucuresti
Școala Doctorală de Inginerie Energetică
Facultatea de Inginerie Energetică



Decizia nr. /2024

Rezumatul Tezei de Doctorat

*Soluții de Alimentare a Consumatorilor Locali din Surse
Regenerabile*

Autor: Drd. Ing. Mohammed Gmal Osman Abdelfadeel

Coordonator Științific: Prof. Dr. Ing. Gheorghe LAZAROIU

Comisia de Doctorat

Presedinte	Prof. Dr. Ing. Radu PORUMB	De la Universitatea Nationala de Stiinta si Tehnologie POLITEHNICA Bucuresti, România.
Coordonator	Prof. Dr. Ing. Gheorghe LAZAROIU	De la Universitatea Nationala de Stiinta si Tehnologie POLITEHNICA Bucuresti, România.
Referent	Prof. Dr. Ing. Vali Violeta CIUCUR	De la Universitatea Maritimă din Constanța, România.
Referent	Prof. Dr. Ing. Ion V. ION	De la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, România.
Referent	Conf. Dr. Ing. Dorel STOICA	De la Universitatea Nationala de Stiinta si Tehnologie POLITEHNICA Bucuresti, România.

București

2024

Cuprins

<i>Rezumat</i>	4
<i>Mulumiri</i>	5
<i>Conținutul tezei de doctorat</i>	7
<i>Concluzii generale, contribuții originale și perspective de cercetare viitoare</i>	20
1. <i>Concluzii și contribuții generale</i>	20
2. <i>Contribuțiile originale ale tezei de doctorat</i>	22
3. <i>Perspective de cercetare viitoare</i>	24
<i>Diseminarea rezultatelor - Contribuțiile autorului la dezvoltarea domeniului de cercetare al tezei</i>	26

Rezumat

Teza de doctorat intitulată "*Soluții de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile*" se angajează într-o explorare amănunțită a fezabilității unui sistem robust de energie solară adaptat la condițiile specifice ale Sudanului. Tehnologia fotovoltaică se dovedește a fi cea mai potrivită soluție pentru generarea de energie electrică în toate orașele sudaneze, datorită în mare măsură poziției geografice strategic avantajoase a Sudanului. Implementarea acestui sistem devine o necesitate imperativă nu doar pentru regiunile îndepărtate de la rețeaua națională, ci și pentru centrele urbane dens populate, inclusiv capitala națională, care se confruntă cu întreruperi recurente de energie. Integrarea panourilor solare de pe acoperișuri sporește fezabilitatea acestei abordări, făcând-o accesibilă fiecărei gospodării.

Analiza efectuată în această studiu este una complexă și acoperă patru dimensiuni critice. În primul rând, cercetarea examinează Profilul Energetic al Sudanului și caracterizarea acestuia, inclusiv aspecte precum procentul populației cu acces la electricitate și tendințele de consum per capita a energiei pe o perioadă de 20 de ani. În al doilea rând, se adâncește în avansurile rapide ale tehnologiei celulelor fotovoltaice și arhitecturile de conexiune inovatoare, care au remodelat semnificativ peisajul energiei solare, oferind perspective asupra celor mai recente dezvoltări tehnologice. A treia dimensiune a analizei se referă la evaluarea potențialului de energie solară în diferite regiuni din Sudan, cu accent pe identificarea locațiilor optime pentru utilizarea energiei solare. Studiul examinează radiația solară din Sudan, resursele totale de energie regenerabilă și delimitează regiunile cele mai potrivite pentru implementarea energiei solare. În cele din urmă, teza explorează proiectarea și comparația între energia solară și cea convențională pentru furnizarea de energie într-un sat îndepărtat din Sudan. Sunt definite mai multe modele matematice și simulate în medii precum MATLAB și HOMER, iar aceste modele sunt ulterior validate în contextul unui sat îndepărtat.

În concluzie, această teză cuprinde o investigație exhaustivă a utilizării energiei solare în Sudan, oferind o soluție promițătoare pentru îmbunătățirea accesului la energie și a rezilienței și contribuind la viitorul energetic durabil al națiunii.

Cuvinte-cheie: *surse regenerabile de energie; celule solare; iradiere solară; conversie energetică; sisteme energetice hibride.*

Mulumiri

Cei trei ani de cercetare dedicată pentru doctorat au fost o călătorie plină de provocări, eforturi persistente de a-mi extinde cunoștințele și contribuții la îmbogățirea literaturii științifice cu rezultatele investigațiilor mele. Această realizare a fost concretizată în cadrul prestigiosului mediu academic al Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA din București.

Îmi exprim sincerele mulțumiri profesorului Gheorghe LAZAROIU, coordonatorul meu de doctorat, pentru îngrijirea dezvoltării mele, deschiderea ușilor către cercetări revoluționare și încurajarea colaborărilor valoroase. Îi sunt, de asemenea, îndatorat pentru că a fost un mentor academic, oferindu-mi îndrumare valoroasă și motivându-mă constant pe parcursul acestor trei ani.

O apreciere specială merge către profesorul Lucian MIHAESCU pentru ideile sale constructive, observațiile inestimabile și asistența instrumentală în rafinarea versiunii finale a tezei mele.

Îmi exprim sincerele mulțumiri pentru recenzia atentă a tezei mele de către membrii de seamă ai comitetului doctoral: Profesorul Radu PORUMB, președintele comitetului, și referenții profesor Violeta Vali CIUCUR profesor Ion V. ION și Conf. Dr. Ing. Dorel STOICA.

Îmi extind recunoștința către profesorii Gabriel Paul NEGREANU și Ionel PISA pentru discuțiile și sfaturile lor valoroase în timpul întâlnirilor de raportare a progresului. colegul meu de doctorat, Cristian Strejoiu.

În dedicarea acestei încercări tatălui meu decedat, a cărui prezență neclintită continuă să mă inspire și să mă îndrume în ciuda absenței sale fizice, mamei mele endure, Fathia Abdelmalik, ale cărei sacrificii și susținere hotărâtă au fost fundamentul pe care mi-am construit aspirațiile academice, fraților mei de seamă Fakhreldin, Alaaldin, Mohieldin și Osman, ale căror camaraderie fermă și credința neclintită în potențialul meu au fost instrumentale în modelarea călătoriei mele academice și bunicii mei iubite Fatima Alzaki, a cărei înțelepciune profundă și îndrumare au servit ca o busolă care m-a condus către căile cunoașterii și virtuții. Această dedicare stă mărturie a dragostei, încurajării și inspirației colective pe care am primit-o de la acești oameni extraordinari, formând nu doar călătoria mea academică, ci și esența ființei mele. Femeii visurilor mele, Shadia Abd Eldaim, o lumină în călătoria vieții mele, cu toată dragostea și devotamentul meu.

Îmi exprim sincerele mulțumiri guvernului român pentru acordarea unei burse, un gest care nu doar că a susținut eforturile mele academice, ci și a demonstrat devotamentul său pentru promovarea educației și încurajarea indivizilor să-și îndeplinească aspirațiile. Recunoștința mea profundă se întinde și către Ministerul Electricității, întrupat în Compania de Transmitere a Electricității din Sudan, pentru generosul lor sprijin pe parcursul călătoriei mele.

Pentru toți cei care au contribuit la drumul meu, bunătatea și încurajarea voastră au fost inestimabile. Sper ca bunătatea voastră să fie recompensată în mod abundent.

Cu profundă recunoștință: Mohammed Gmal Osman Abdelfadeel

Prefață

Soluțiile de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile urmaresc:

- Satisfacerea nevoilor de energie in zone nealimentate (neracordate) la o retea centralizata.
- Acoperirea nevoilor de energie pentru anumite perioade, numai din surse regenerabile, pentru o anumita zona geografica cu microretea de energie electrica.

În căutarea neîncetată a soluțiilor de energie durabilă, această teză doctorală, intitulată "**Soluții de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile**" se lansează într-o călătorie semnificativă în domeniu al sistemelor alternative de generare a energiei. În timp ce ne aflăm pe prăpastia unei tranziții energetice globale, nevoia de surse de energie prietenoase cu mediul și economic viabile nu a fost niciodată mai urgentă. Această teză doctorală navighează terenul complex al soluțiilor durabile pentru furnizarea locală de energie către consumatori. Călătoria începe cu o prezentare comprehensivă a situației actuale a peisajului energetic mondial și o examinare atentă a literaturii referitoare la soluțiile de energie regenerabilă.

Prefața servește ca preludiu pentru capitolele care urmează, oferind o privire asupra motivațiilor, provocărilor și aspirațiilor care stau la baza cercetării. Îmbrățișarea unei căutări pentru energie durabilă îi îndeamnă pe indivizi să exploreze alternative inventive, invitându-i să descopere opțiuni eco-friendly care au potențialul de a remodela peisajul energetic. Să ne unim forțele în căutarea unui viitor mai verde.

Ținând cont de mediul energetic global actual, în care schimbările climatice și degradarea mediului înconjurător sunt semnificative, Prefața pregătește terenul pentru o investigație comprehensivă a soluțiilor de energie regenerabilă. Aceasta semnalează necesitatea de a înțelege nu doar aspectele teoretice, ci și de a intra în aplicațiile practice și considerațiile care ar putea deschide drumul către un viitor mai prietenos cu mediul și durabil.

Această teză se dezvăluie ca o poveste, fiecare capitol contribuind cu un strat distinct la povestea globală a valorificării energiei din surse regenerabile. Pe măsură ce explorarea începe, ne adâncim în peisajul energetic al Sudanului, o țară cu un bogat mozaic de resurse energetice. De la biomasa și hidroenergie până la petrol, gaze naturale și perspectivele promițătoare ale energiei eoliene, geotermale și solare, Capitolul 1 pune bazele pentru capitolele următoare.

Explorarea se concentrează apoi pe dezvoltările de ultimă oră în tehnologiile de energie solară. Capitolul 2 dezvăluie progresele în tehnologia celulelor fotovoltaice și arhitecturile de

conectare, evidențiind evoluția dinamică a energiei solare ca un actor cheie în spectrul energiei regenerabile.

În continuare, Capitolul 3 ne poartă într-o călătorie pentru a evalua potențialul energiei solare în diferite regiuni ale Sudanului. Acest lucru implică o examinare meticuloasă a radiației solare, utilizării fotovoltaice și iradierii orizontale globale, conducând în cele din urmă la determinarea configurațiilor fotovoltaice optime adaptate nuanțelor geografice specifice.

Capitolul 4 își mută accentul în domeniul energiei termice solare, explorând viabilitatea acesteia ca soluție eficientă și durabilă de încălzire. Acest lucru implică o prezentare generală cuprinzătoare a sistemelor de încălzire cu apă solară, considerații tehnologice și analize economice, oferind perspective asupra aplicațiilor multifuncționale ale energiei termice solare.

În Capitolul 5, explorarea ia o turnură pragmatică, concentrându-se pe aplicațiile din lumea reală. O examinare amănunțită a planificării și comparației între energia solară și sursele tradiționale de energie pentru alimentarea unei comunități rurale din Sudan se desfășoară. Acest capitol servește ca un pod între cunoștințele teoretice și implicațiile din lumea reală, abordând probleme legate de considerațiile geografice, cerințele de încălzire și rentabilitatea.

Pe măsură ce povestea se apropie de culminare în Capitolul 6, Concluziile și Perspectivele de Cercetare Ulterioare, aceasta adună firele de cunoaștere înțesate de-a lungul tezei. Scientizează concluziile generale, subliniază contribuțiile originale și deschide calea pentru viitoarele eforturi de cercetare în domeniul dinamic al energiei durabile.

În esență, această Prefață setează tonul pentru o explorare comprehensivă, invitând cititorii să înceapă o călătorie de descoperire în lumea soluțiilor de energie regenerabilă. Sperăm ca perspectiva obținută din această teză să contribuie semnificativ la discursul global în curs de desfășurare cu privire la tranzițiile energetice durabile, ghidându-ne către un viitor alimentat de surse de energie curată, eficientă și prietenoasă cu mediul înconjurător.

Conținutul tezei de doctorat

Sudan, o țară binecuvântată cu resurse solare abundente, se află la limita unei revoluții în energia regenerabilă. Cu vaste suprafețe de teren scaldat de soare și o nevoie crescândă de soluții energetice durabile, explorarea și utilizarea energiei solare a devenit imperativă. Această teză se lansează într-o călătorie cuprinzătoare prin peisajul energetic solar al

Sudanului, având ca scop deblocarea întregului său potențial și trasarea unei căi către un viitor mai verde și mai durabil.

Obiectivele cercetării au fost:

- Realizarea unui studiu cuprinzător asupra resurselor și tehnologiilor de energie solară, servind ca model pentru adoptarea și implementarea sistemelor de energie solară în contexte geografice diverse, în România, inclusiv în Sudan și oriunde în lumea.
- O prezentare generală a resurselor solare abundente din Sudan și a implicațiilor lor mai largi pentru abordarea provocărilor energetice globale, evidențiind relevanța universală a energiei solare ca sursă curată și regenerabilă de energie.
- Identificarea locațiilor optime pentru instalarea centralelor solare în întregul Sudan, folosind metodologii de selecție a site-urilor care pot fi replicate și adaptate pentru eforturi similare în alte regiuni, contribuind la extinderea infrastructurii de energie solară la nivel mondial.
- Analiza evoluției tehnologiei panourilor solare și a progreselor în sistemele de energie solară, oferind perspective asupra inovațiilor tehnologice care pot fi exploatate pentru a maximiza eficiența generării de energie și scalabilitatea în diverse contexte geografice.
- Evaluarea eficacității energiei solare în aplicații de încălzire și evaluarea soluțiilor energetice hibride, oferind o înțelegere cuprinzătoare a versatilității și scalabilității tehnologiilor de energie solară pentru satisfacerea diverselor nevoi energetice la nivel global.
- Dezvoltarea unui cod practic sub formă de program MATLAB pentru analizarea scenariilor energetice în sate ipotetice, facilitând luarea deciziilor fundamentate științific și planificarea strategică în implementarea sistemelor de energie solară în diferite regiuni și comunități.
- Contribuții la cunoașterea energiei solare prin analize empirice, cadre teoretice și instrumente practice, promovând colaborarea, inovația și angajamentul comun către un viitor mai luminos și mai durabil pentru toți.
- Promovarea schimbului de cunoștințe și dezvoltarea capacității în domeniul energiei solare prin diseminarea rezultatelor cercetării, a celor mai bune practici și a instrumentelor practice, facilitând transferul de tehnologie și colaborarea între părțile interesate din diferite regiuni și sectoare.

Teza se desfășoară logic, fiecare capitol contribuind distinct la efortul global al valorificării energiei din surse regenerabile.

În **Capitolul 1**, se evaluează resursele energetice ale Sudanului, care cuprind de la biomasa și hidroenergie până la petrol, gaze naturale și perspectivele promițătoare ale energiei eoliene, geotermale și solare.

Când se investighează producția de energie din Sudan, există o creștere semnificativă între anii 2000 și 2019, conform rapoartelor Agenției Internaționale pentru Energie. Cu toate acestea, apare un aspect critic: o parte semnificativă din această producție se bazează pe combustibili tradiționali din biomasa, subliniind necesitatea urgentă ca Sudanul să treacă la surse de energie mai verzi și mai durabile.

În 2019, mixul de producție de electricitate al Sudanului era dominat de centralele termice, care contribuiau cu 89% la total. Cu toate că potențialul hidroelectric și solar este semnificativ, contribuțiile lor rămân relativ modeste. Pentru a aborda această situație, Sudanul își propune să producă 20% din energia sa electrică din surse regenerabile până în 2030, cu accent pe energia solară și cea eoliană.

Această schimbare este crucială nu numai pentru sustenabilitate, ci și pentru îmbunătățirea accesului la electricitate. Deși s-au înregistrat progrese semnificative începând din 1992, când doar 32.6% din populația Sudanului avea acces la electricitate, mai este mult de lucru. Cu 53.6% din populație având acces în 2019, inițiativele pentru creșterea producției de energie regenerabilă vor contribui probabil la îmbunătățiri suplimentare în ceea ce privește accesul..

Capitolul 2 dezvăluie progresele în tehnologia celulelor fotovoltaice și arhitecturile de conectare, evidențiind evoluția dinamică a energiei solare ca un actor cheie în spectrul energiei regenerabile.

Tehnologia PV transformă energia solară în electricitate, folosind două tehnici principale: sistemele fotovoltaice (PV) și sistemele de energie solară concentrată (CSP).

Siliciul cristalin domină sectorul fotovoltaic, reprezentând peste 90% din cota de piață datorită fiabilității și eficienței sale. Evoluția tehnologiei PV a condus la dezvoltarea de panouri solare mai eficiente și mai economice.

Tehnologiile fotovoltaice de prima generație folosesc în principal siliciu cristalin, cu eficiență care variază în mod tipic între 13% și 18%. Aceste tehnologii beneficiază de procese mature de fabricație, dar se confruntă cu provocări legate de costurile de producție.

Tehnologiile fotovoltaice de a doua generație, cum ar fi celulele solare cu strat subțire, oferă avantaje potențiale de cost față de siliciul cristalin. Cu toate acestea, acestea prezintă în general o eficiență mai scăzută, situându-se între 5% și 21.2%, în funcție de materialul specific utilizat.

Tehnologiile fotovoltaice de a treia generație cuprind concepte emergente și materiale menite să îmbunătățească în continuare eficiența și să reducă costurile. Acestea includ PV concentrat (CPV), celule solare sensibilizate la colorant (DSSC), celule solare organice și materiale noi precum puncte cuantice și perovskite. Deși aceste tehnologii promet o eficiență mai mare, se confruntă cu provocări legate de comercializare limitată și complexități tehnice.

Investigația în arhitecturile de conexiune și de aranjament ale sistemelor PV subliniază o serie de metodologii menite să atenueze preocupările privind pierderile de putere cauzate de umbrire sau disfuncții. Acestea includ utilizarea de diode de derivare, utilizarea tehnicilor de urmărire a punctului de putere maximă (MPPT) și adoptarea de configurații de aranjament inovatoare, cum ar fi serie-paralel, total încrucișat, conectat în pod și aranjamente în formă de fagure. Fiecare abordare oferă avantaje și compromisuri distincte, evidențiind complexitatea optimizării sistemelor de energie solară pentru eficiență și reziliență în diferite condiții de mediu. În continuare, **Capitolul 3** evaluează potențialul energiei solare în diferite regiuni ale Sudanului. Acest lucru implică o examinare meticuloasă a radiației solare, utilizării fotovoltaice și iradierii orizontale globale, conducând în cele din urmă la determinarea configurațiilor fotovoltaice optime adaptate nuanțelor geografice specifice. S-au examinat 11 situri din Sudan pentru a amplasa nodurile producerii de energie electrică prin panouri fotovoltaice.

Studiul efectuat folosind software-ul HOMER a avut ca scop identificarea sistemului solar fotovoltaic (PV) optim pentru a satisface nevoile energetice ale unui oraș din Sudan. Printre diferitele sisteme PV analizate, Studer VarioTrack VT-60 a ieșit în evidență ca fiind cea mai potrivită opțiune, cu un Cost al Energiei (COE) de 0.08748 USD/kWh și necesitând doar 30 de panouri PV pentru a satisface cererea. Simulările ulterioare în 11 locații diferite din Sudan au arătat că Dongola și Khartoum sunt cele mai favorabile locații pentru utilizarea energiei solare, cu COE-uri de 0.08255 USD/kWh și respectiv 0.08299 USD/kWh. **Capitolul 4** pune accentul în domeniul energiei termice solare, explorând viabilitatea acesteia ca soluție eficientă și durabilă de încălzire. Acest lucru implică o prezentare generală cuprinzătoare a sistemelor de încălzire cu apă solară, considerații tehnologice și analize economice, oferind perspective asupra aplicațiilor multifuncționale ale energiei termice solare. Studiul explorează eficiența termică și viabilitatea economică a sistemelor de energie solară în Khartoum, Sudan. Acesta utilizează software-ul Polysun pentru simulări anuale dinamice și evaluări economice. Software-ul furnizează simulări precise fără a necesita termeni de corelație, integrând evaluări ale echilibrului ecologic și viabilitate economică. Potențialul solar al Sudanului este evidențiat, cu nouă ore de soare pe zi și o insolare solară medie zilnică de 6.2 kWh/m².

Calculațiile de eficiență pentru colectoarele solare, încărcarea zilnică a energiei de încălzire a apei, dimensiunea sistemului, costul și viabilitatea economică sunt prezentate. Rezultatele arată economii de energie semnificative pe tot parcursul anului și eficiență din punct de vedere al costurilor în comparație cu sursele de energie convenționale. Analiza contribuției solare lunare demonstrează capacitatea sistemului de a satisface cerințele de vară și de iarnă eficient. Simulările și rezultatele MATLAB pun în valoare eficiența și versatilitatea panourilor solare hibride, cunoscute sub numele de panouri PVT, în generarea atât a electricității, cât și a căldurii.

În **Capitolul 5**, autorul realizează o serie de aplicații originale a situației concrete și reale din Sudan. Realizează o examinare amănunțită a planificării și comparației între energia solară și sursele tradiționale de energie pentru alimentarea unei comunități rurale din Sudan. Acest capitol servește ca un pod între cunoștințele teoretice și implicațiile din lumea reală, abordând probleme legate de considerațiile geografice, cerințele de încărcare și rentabilitatea. El se concentrează pe un sat din unitatea Shariq al-Nil din Sudan, care, în ciuda lipsei de acces la rețeaua electrică națională și a dependenței de generatoare diesel, este potrivit pentru proiecte fotovoltaice datorită amplasării geografice și comunității agricole mici.

El se concentrează pe un sat din unitatea Shariq al-Nil din Sudan, care, în ciuda lipsei de acces la rețeaua națională de electricitate și a dependenței de generatoarele diesel, este potrivit pentru proiecte fotovoltaice datorită amplasării sale geografice și comunității agricole mici.

Încărcările de bază în această zonă izolată sunt în principal pentru pompe de apă, iluminat, răcire și încălzire, încărcarea totală fiind reprezentată în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1: Încărcarea totală a satului

Încărcare	Număr	Putere (W)	Încărcare Totală Instalată (W)
Locuință	30	3000	90000
Stradă	1	600	600
Medical	1	1300	1300
Supermarket	1	200	200
Pompă de Apă	2	11000	22000
Încărcare Totală			

Studiul a efectuat o examinare amănunțită a acestor încărcări în trei etape pentru a identifica combinația optimă între eficiență și viabilitate economică. Inițial, încărcările urmau să fie alimentate de panouri solare. Ulterior, în al doilea scenariu, panouri distincte au fost alocate pentru generarea de apă caldă și producția de electricitate. În cele din urmă, panourile hibride au fost folosite pentru a genera simultan electricitate și a furniza apă caldă în Tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 Rezumat al Componentelor Sistemului

Component	Model	Evaluare component			Dimensiune (inch)	Preț unitar USD	Preț total	Garanție
		W/Ah	A	V				
Panouri	Longi LNLGR4-72HPH-455M	455 /339W	10.92 /8.75	41.7/ 38.8	209.4 x 103.8 x 3.5 cm	100	26000	25
Baterii	Baterie litiu	100 Ah	~	12	3.3x1.7x2.2	75	5000	2
Invertor	VG1012	800W	~	24/220	4.7x3.35x2.1	100	3300	5
Fire	#02 AWG				Diametrur= 6.54 mm, Arie= 32.0 mm ²	50	100	
	#10 AWG				Diametrur= 2.59 mm, Arie= 5.27 mm ²	50	100	
Motorină	Stager	5000	18	230	9.50 x 5.50 x 7.65	2000	4000	2
Motorină	Stager	20000	86.9	230	18.9x9.1x11.6	10000	30000	2

În această configurație, panourile solare generează electricitate în timpul zilei pentru sat și încarcă bateriile. În timpul nopții, bateriile alimentează luminile și aparatele. Cu un cost al energiei de 0.673 dolari pe kWh și un cost net al proprietății de 1.58 milioane de dolari, sistemul prioritizează sustenabilitatea prin faptul că nu emite carbon. În timp ce costul energiei este relativ ridicat, costul net al proprietății sugerează o investiție inițială semnificativă, care poate duce la eficiență pe termen lung. Găsirea unui echilibru între viabilitatea financiară și impactul asupra mediului este esențială pentru o soluție de energie fiabilă și rentabilă în Figura 5.1.

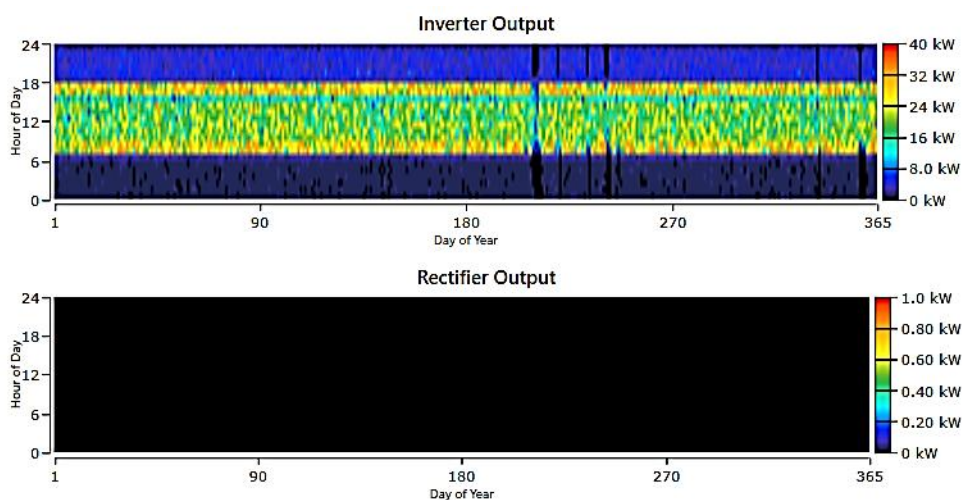


Figura 5.1 Rezultatele simulării Convertorului.

Sistemul funcționează timp de 8629 de ore pe an, cu atât invertorul, cât și rectificatorul capabile să gestioneze o putere maximă de 35 kW as cum în Figura 5.2.

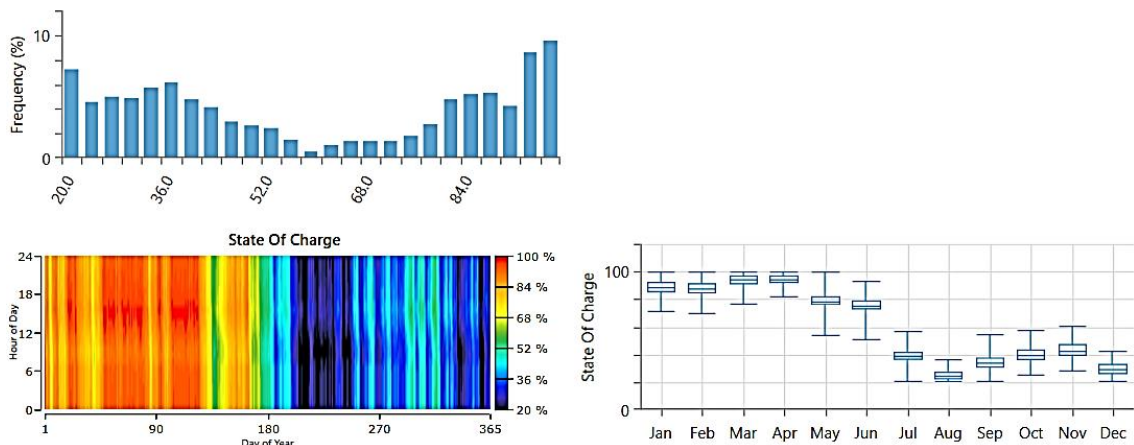


Figura 5.2 Starea încărcării bateriilor.

Tensiunea busului este notată la 48 V, cu o capacitate nominală de 1613 kW/h pentru bateriile de stocare a energiei, o intrare de energie de 37363 kWh/an, o ieșire de energie de 36706 kWh/an și o durată totală de funcționare de 8473 de ore.

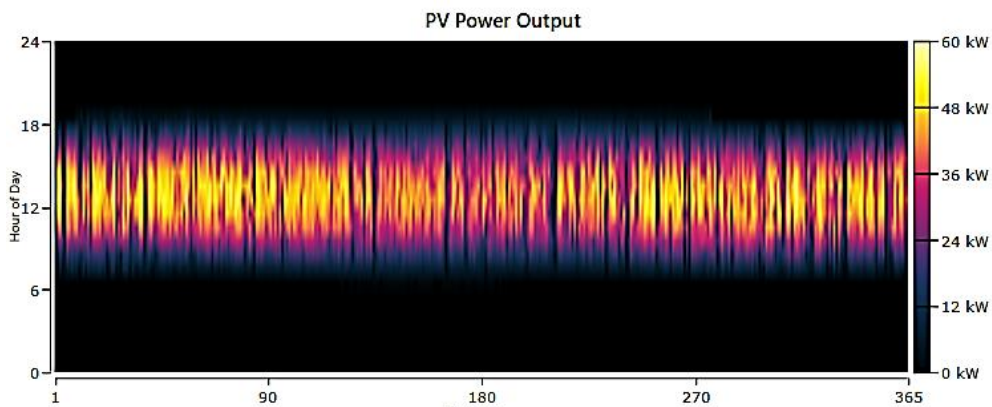


Figura 5.3 Ieșirea panoului PV pe parcursul anului.

Echipamentul folosit în sistem costă în total 34.300 USD pentru panouri solare și 34.000 USD pentru motorina. Trebuie adăugate costuri suplimentare pentru proiectare, muncă, cablare, măsurare, monitorizare, dispozitive de deconectare și transport. Această cheltuială suplimentară este estimată să fie de 4000 USD pentru motorină.

Studiu privind producția de apă caldă separată.

Sistemul, cu o capacitate nominală de 58.8 kW și o ieșire maximă de 57.3 kW, a funcționat timp de 4361 de ore într-un an, realizând o producție totală de 112.017 kWh pe an și o ieșire medie zilnică de 307 kWh, indicând o performanță robustă în generarea energiei solare fotovoltaice.

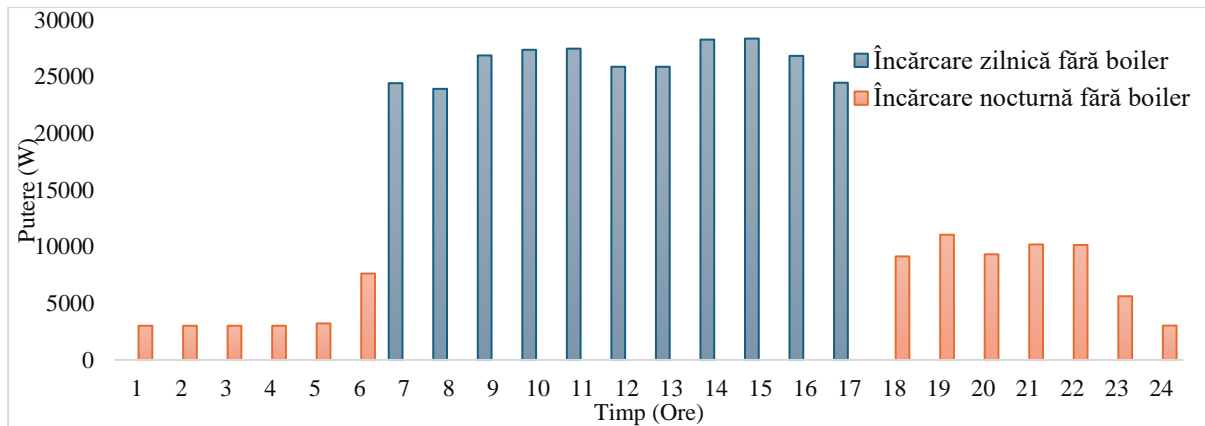


Figura 5.4 Încărcarea Zilnică și de Noapte Fără Cazan

Codul MATLAB stabilește parametrii sistemului și simulează performanța unui sistem de panouri solare pe parcursul a 24 de ore. Calculează distribuția orară a încărcării cazanului și consumul total fără cazan, apoi generează curbe pentru producția de apă caldă, producția de energie și consumul total orar. Aceste rezultate sunt afișate, arătând ora, producția de apă caldă și producția de electricitate pentru fiecare oră, împreună cu producția totală de apă caldă și electricitate pentru întregul interval de timp.

Scriptul generează inițial date de producție a energiei aleatorii, ajustându-le în funcție de nivelurile de radiație solară. Modelează încărcarea și descărcarea bateriei în funcție de modelele de producție și consum de energie, asigurându-se că încărcarea bateriei rămâne în limitele definite. În plus, simulează variațiile de temperatură pentru apa caldă și apa de intrare, restricționându-le în limite rezonabile. În final, diverse aspecte ale rezultatelor simulării, cum ar fi producția de energie, încărcarea bateriei, temperatura, radiația solară și tensiunea bateriei, sunt vizualizate.

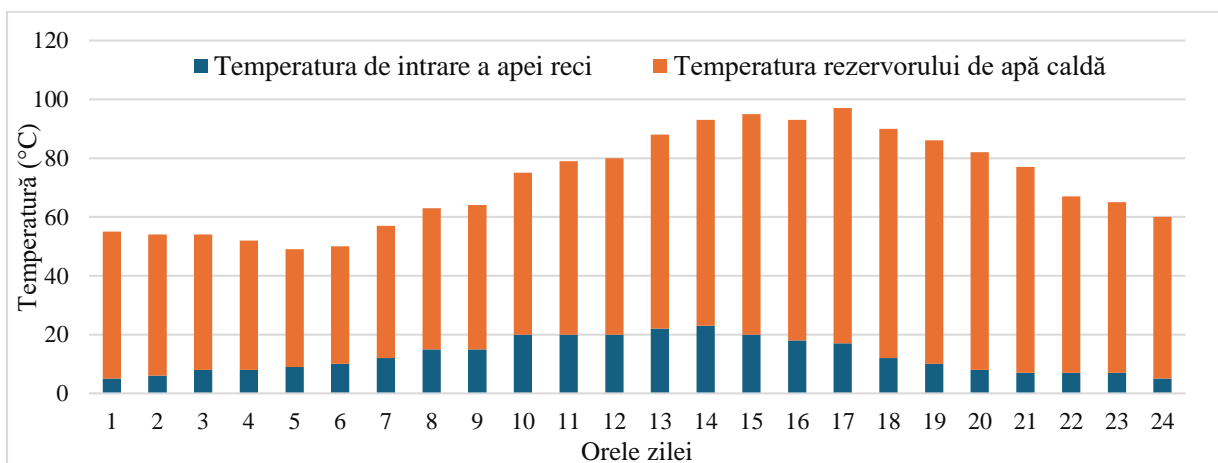


Figura 5.5 Temperatura de Intrare și de Ieșire a Apei.

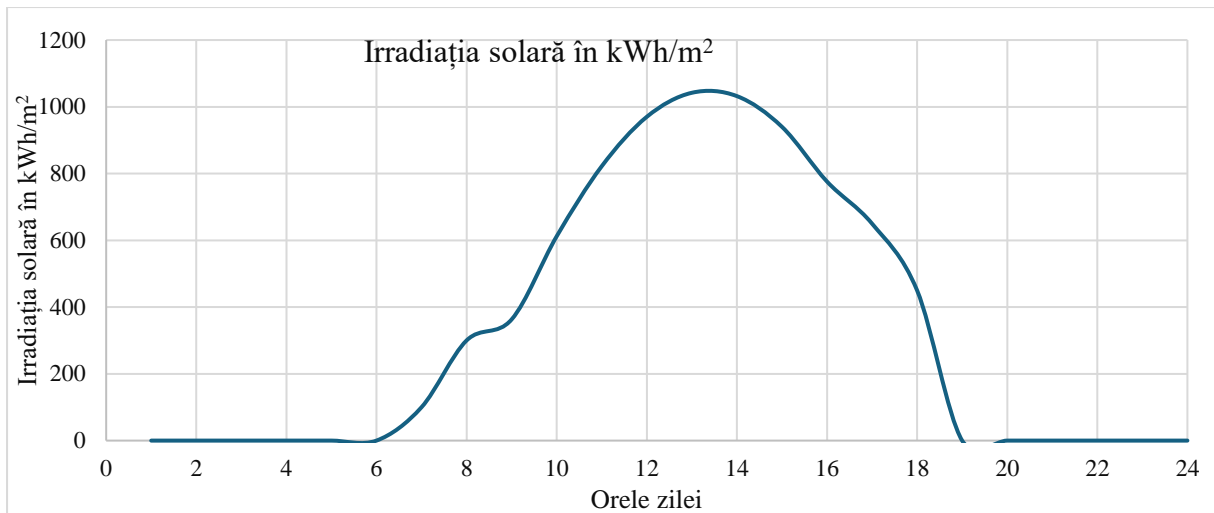


Figura 5.6 Radiația Solară kWh/m².

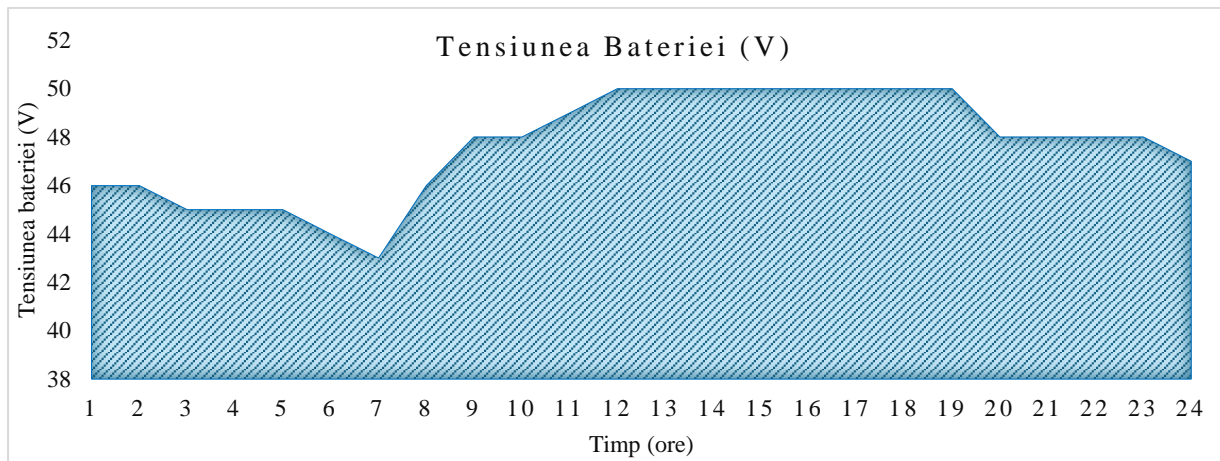


Figura 5.7 Starea de Încărcare a Bateriei.

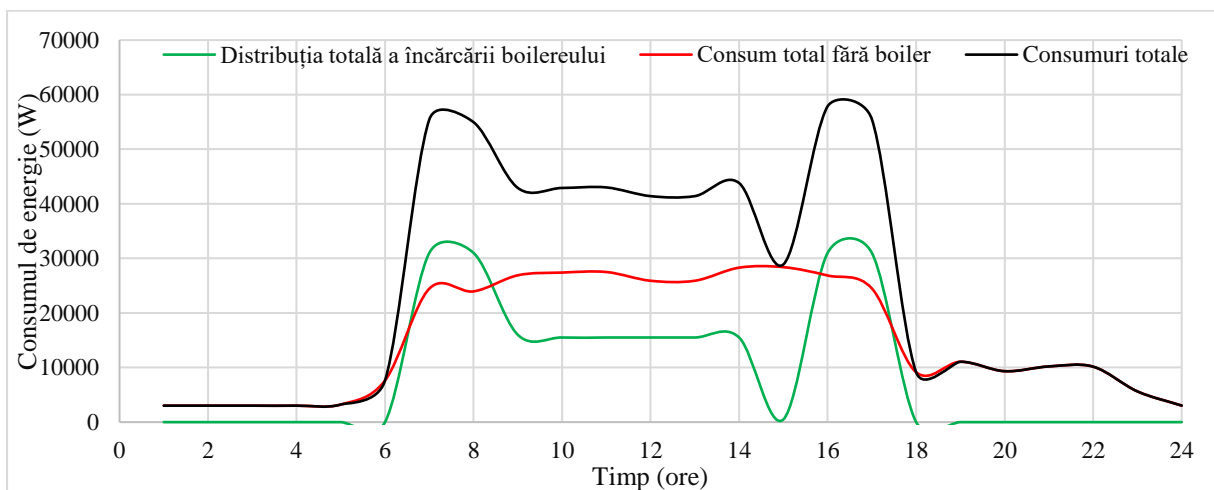


Figura 5.8 Analiza Comparativă între Consumul de Energie.

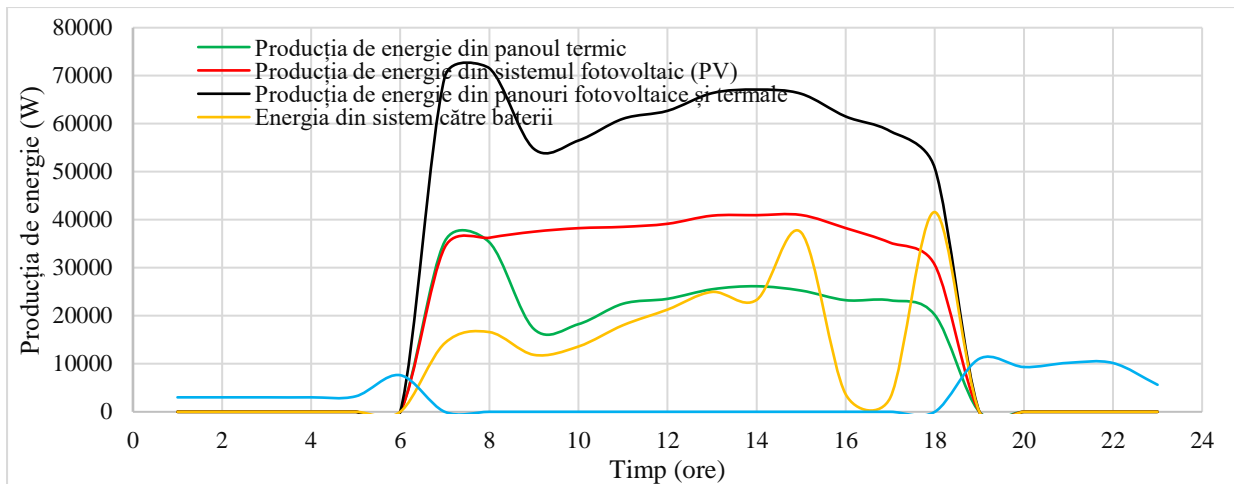


Figura 5.9 Analiza Comparativă între Generarea de Energie.

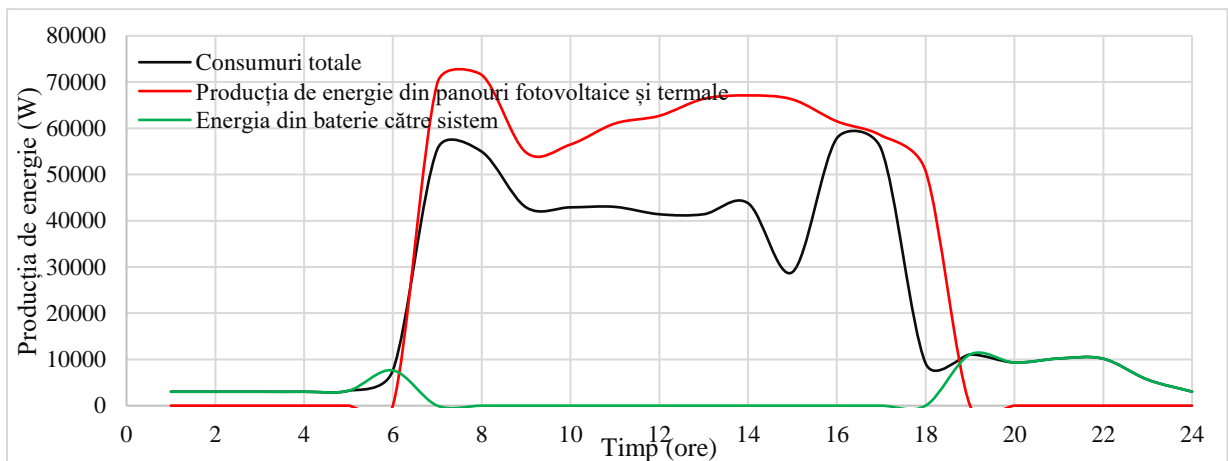


Figura 5.10 Analiza Comparativă între Consumul și Generarea de Energie,

În acest caz, numărul de panouri în fiecare clădire este 4, iar numărul total de panouri necesare este $(4 \times 33) = 132$ de panouri. prețul unui singur panou este de 100 USD, iar costul total al panourilor este de 13000 USD, reducerea costului fiind de 13000 USD.

Studiu despre Panoul Fotovoltaic și Termic (PV/T)

Panoul solar hibrid funcționează dublu, generând electricitate și încălzind rezervoarele de apă, realizat prin integrarea unui modul fotovoltaic pentru generarea electricității cu un colector termic solar pentru încălzirea apei, oferind eficiență crescută, economii de cost și versatilitate în producția de energie durabilă. Codul MATLAB efectuează o simulare a performanței sistemului de panouri PV/T pe parcursul a 24 de ore, inițializând prin stabilirea parametrilor sistemului, cum ar fi capacitatea rezervorului, dimensiunea familiei, energia necesară pentru apa caldă și electricitate și numărul de case din sat. Ulterior, utilizează datele furnizate despre radiația solară, distribuția încărcării cazanului și consumul total de energie pentru a genera date aleatoare privind producția de energie, ajustate în funcție de nivelurile de

radiație solară. Simularea integrează încărcarea și descărcarea bateriei în funcție de profilurile de producție și consum de energie, asigurându-se că încărcarea bateriei rămâne în limitele predefinite pe parcursul zilei. În plus, sunt simulate profiluri de temperatură pentru apa caldă și apa de intrare, fiind restricționate în limite realiste. În final, codul generează diagrame care ilustrează diverse aspecte ale rezultatelor simulării, incluzând producția de energie, încărcarea bateriei, temperatura, radiația solară și tensiunea bateriei.

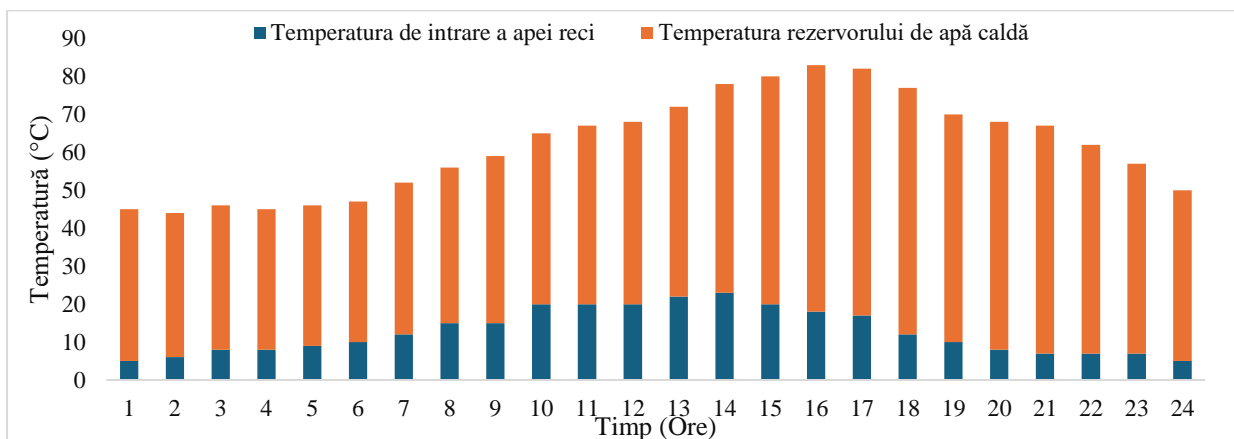


Figura 5.11 Temperatura de Intrare și de Ieșire a Apei.

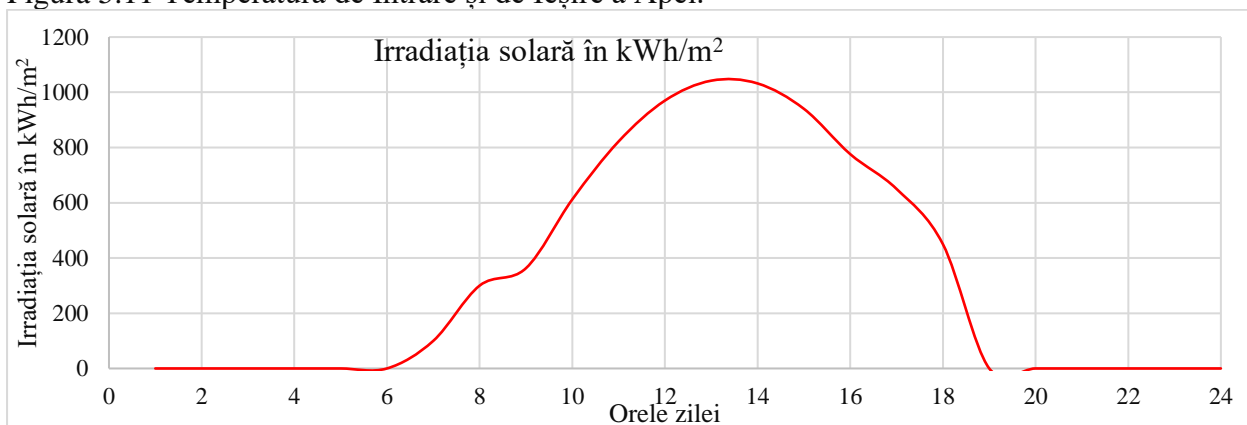


Figura 5.12 Radiația Solară pe kWh/m².

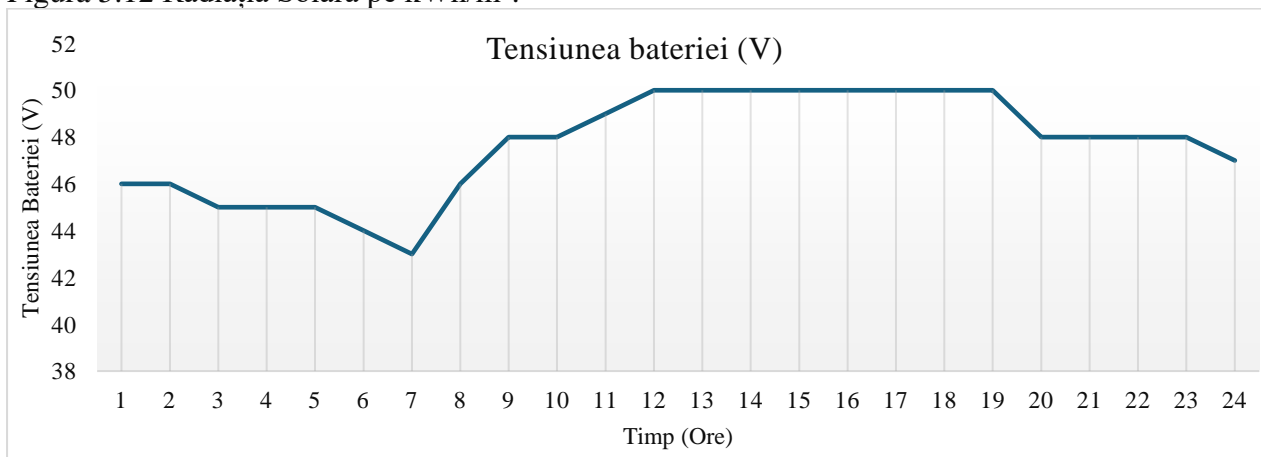


Figura 5.13 Starea de Încărcare a Bateriei.

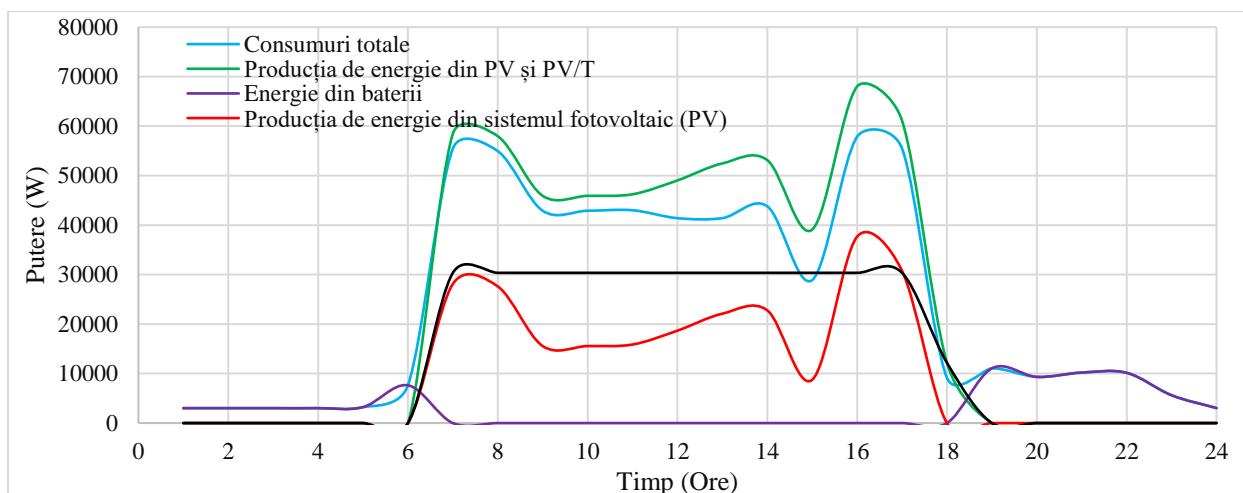


Figura 5.14 Producția și Consumul Total de Energie.

În rezumat, evaluarea noastră a cuprins examinarea a cinci opțiuni distincte pentru generarea de energie în sate prin utilizarea software-ului Homer. Dintre aceste opțiuni, cea mai importantă alegere a implicat implementarea unui sistem fotovoltaic (PV) cu baterii, recunoscut ca fiind cea mai viabilă din punct de vedere financiar și ecologic. Cu toate acestea, a patra alternativă, care integrează panouri PV cu baterii și suport diesel, a apărut ca un plan de contingență practic, în special în scenariile de urgență. În contrast, celelalte opțiuni au fost caracterizate fie de costuri operaționale exorbitante, fie de emisii excesive de carbon, sau ambele, făcându-le mai puțin dorite.

Trecând la codul MATLAB dezvoltat de noi, desemnat ca anexă 2, am delimitat câțiva parametri cruciali pentru a determina valorile necesare, cum ar fi cererea anuală de energie, suprafața necesară a panourilor PV, capacitatea necesară a bateriilor, numărul necesar de baterii, cheltuielile totale și costul pe kilowatt-oră (kWh) de energie generată. Codul a funcționat pe baza unor ipoteze predeterminate referitoare la radiația solară și consumul zilnic de energie pentru a deriva acești parametri. În plus, a ținut cont meticolos de costurile asociate cu componentele care constituie sistemul, inclusiv panouri PV, baterii și invertoare, facilitând astfel calculul atât al costului total al sistemului, cât și al costului pe kWh de energie generată.

Este imperativ să recunoaștem că, deși ipotezele codului pot fi valabile în anumite scenarii, acestea pot necesita ajustări bazate pe circumstanțele unice ale fiecărui proiect. Rezultatele obținute prin calculele MATLAB au fost iluminante, dezvăluind o cerere zilnică de energie de 589.50 kWh și o cerere anuală de energie totalizând 215167.50 kWh. Suprafața necesară a panourilor PV calculată a fost de 34.6 m², cu o cerință corespunzătoare de capacitate a bateriilor de 6900.00 kWh. Notabil, analiza a stipulat achiziționarea a 72 de

baterii pentru a sprijini în mod adecvat operațiunile sistemului. Costul total estimat al sistemului a fost de 113500.00 USD, însoțit de un cost de 0.671 USD/kWh. În plus, s-a prevăzut că sistemul va genera o producție anuală de energie de 12113294.13 MWh.

Având în vedere informațiile furnizate, devine evident că abordarea cea mai rentabilă este integrarea unui sistem PV pentru generarea de electricitate împreună cu panouri solare termice pentru furnizarea de apă caldă. Această configurație de sistem dual nu numai că optimizează eficiența costurilor, dar minimizează și cerințele de întreținere. Investiția inițială pentru un astfel de sistem combinat PVT este estimată la 15500 USD, capabil să furnizeze întregului sat apă caldă și o putere de 7.750 kW. Mai mult, augmentarea acestei configurații cu încă 22.5 kW din panouri PV convenționale, la un cost aproximativ de 23000 USD, sporește și mai mult capacitatea totală de producție de energie.

Acest lucru subliniază superioritatea utilizării sistemelor PV pentru generarea de electricitate și a panourilor solare termice pentru producerea de apă caldă, în special datorită dinamicii favorabile a costurilor și cerințelor mai reduse de întreținere. În comparație, sistemele hibride implică costuri inițiale mai mari și necesită întreținere mai intensă, făcându-le opțiuni mai puțin atractive din punct de vedere al rentabilității și practicabilității. Mai mult, tendința descendentă a costurilor inițiale ale sistemelor PV, juxtapuse cu costurile în creștere asociate cu achiziționarea de motorină, transportul și impacturile negative asupra mediului, accentuează avantajele convingătoare ale energiei solare. Energia solară se evidențiază ca o alternativă curată, durabilă și economic avantajoasă, oferind nu doar economii substanțiale de costuri, dar și atenuând preocupările legate de mediu fără efecte secundare dăunătoare. Aceste rezultate servesc drept o afirmare răsunătoare a fezabilității sistemelor de energie solară ca alternative durabile și avantajoase economic la sursele de energie convenționale.

Rezultatele validării

Într-un efort concertat de a valida constatările, studiul a utilizat meticolos o abordare multi-prong, utilizând instrumente software sofisticate precum MATLAB și HOMER pentru o examinare detaliată a soluțiilor de energie regenerabilă. Această analiză cuprinzătoare a fost caracterizată de o evaluare riguroasă și atentă, asigurând acuratețea și fiabilitatea rezultatelor. Prin compararea meticuloasă a rezultatelor obținute de pe aceste platforme diverse, credibilitatea studiului a fost semnificativ sporită. Această metodologie riguroasă nu numai că a consolidat robustețea constatărilor, dar a deschis și calea pentru diseminarea pe scară largă printr-o multitudine de publicații și implicare activă în numeroase conferințe.

Capitolul 6 prezintă Concluziile și Perspectivele de Cercetare Ulterioare rezultate din cercetările pentru elaborarea tezei. Sunt sintetizate concluziile generale, se subliniază

contribuțiile originale și deschide calea pentru viitoarele eforturi de cercetare în domeniul dinamic al energiei durabile.

Concluzii generale, contribuții originale și perspective de cercetare viitoare

1. Concluzii și contribuții generale

Teza de doctorat intitulată "***Soluții de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile***" realizează o investigație exhaustivă a utilizării energiei solare în Sudan, oferind o soluție promițătoare pentru îmbunătățirea accesului la energie și a rezilienței și contribuind la viitorul energetic durabil al națiunii.

În validarea rezultatelor, studiul a fost realizat meticolos folosind mai multe programe, inclusiv MATLAB și HOMER, pentru a analiza soluțiile de energie regenerabilă în mod exhaustiv. După această analiză, constatările au fost comparate riguros între aceste programe pentru a asigura consistența și fiabilitatea, consolidând astfel soliditatea și credibilitatea rezultatelor studiului.

Principalele *concluzii și contribuții generale* rezultate în urma **cercetărilor** realizate pentru elaborarea tezei sunt:

- ✓ *Revizuirea literaturii.* S-a efectuat o revizuire exhaustivă a literaturii care cuprinde resursele, tehnologiile și aplicațiile energiei solare. În acest sens s-au examinat articole științifice, rapoarte tehnice, publicații guvernamentale și surse industriale pentru a stabili o fundamentare teoretică pentru studiu, pentru a identifica lacunele de cercetare și a aducerea aportului propriu.
- ✓ *Colectarea datelor.* S-au cercetat date primare și secundare relevante pentru obiectivele studiului, respectiv date despre resursele solare, informații geografice, specificații tehnologice și factori socio-economici prin intermediul sondajelor de teren, tehnicilor de teledetecție și achiziționarea de date din surse de încredere, cum ar fi agențiile guvernamentale și instituțiile de cercetare.
- ✓ *Criterii de selecție a site-urilor.* S-au dezvoltat criterii pentru selectarea locațiilor optime pentru instalarea centralelor solare, care au inclus nivelurile de iradiere solară, disponibilitatea terenurilor, proximitatea infrastructurii, considerațiile de mediu și impactul socio-economic. Pentru aceasta s-au utilizat instrumente de Sisteme de Informații Geografice (GIS) și tehnici de analiză spațială pentru a evalua site-urile potențiale pe baza acestor criterii.

- ✓ *Analiza tehnologiei panourilor solare.* S-a analizat evoluția tehnologiei panourilor solare și progresele în sistemele de energie solară, prin intermediul unei metrici cheie de performanță, care include eficiența, durabilitatea și eficiența costurilor. Astfel s-au comparat diferite tehnologii, respectiv panouri fotovoltaice (PV), sisteme de energie solară concentrată (CSP) și tehnologii emergente, pentru a identifica tendințe și oportunități de inovație.
- ✓ *Evaluarea fezabilității economice.* A fost realizată o analiză cuprinzătoare a fezabilității economice a soluțiilor de energie solară, utilizând analize cost-beneficiu, modelare financiară și analize de sensibilitate pentru a evalua costurile de capital, cheltuielile operaționale, fluxurile de venituri și metricile de returnare a investiției (ROI). Prin aceasta s-a evaluat viabilitatea economică și atractivitatea investițiilor în energie solară.
- ✓ *Evaluarea impactului asupra mediului.* A fost evaluat impactul asupra mediului al utilizării energiei solare prin evaluări ale ciclului de viață (LCA) ale emisiilor de gaze cu efect de seră, consumului de apă, utilizării terenurilor și altor indicatori de mediu, comparând amprenta ecologică a sistemelor de energie solară cu sursele de energie convenționale pentru a evalua contribuția lor la reducerea schimbărilor climatice și sustenabilitatea mediului.
- ✓ *Studii de caz și modelare prin simulare.* S-au dezvoltat studii de caz și modele de simulare pentru a analiza scenarii energetice în sate sau comunități ipotetice în diferite condiții, prin elaborarea unor programe originale în MATLAB realizând simulări privind implementarea sistemelor de energie solară în diferite configurații, pentru a evalua performanța lor și pentru a evalua implicațiile socio-economice și de mediu.
- ✓ *Implicarea părților interesate.* În elaborarea soluțiilor propuse s-a colaborat cu părțile interesate relevante, inclusiv agenții guvernamentale, reprezentanți ai industriei, lideri comunitari și organizații neguvernamentale (ONG-uri), primind feedback, asupra relevanței și aplicabilități rezultatelor studiului.
- ✓ *Analiza politicilor și recomandări.* S-au analizat cadrele politice existente și mecanismele reglementare care guvernează implementarea energiei solare, au fost identificate bariere în calea adoptării și s-au propus recomandări politice pentru a promova integrarea energiei solare în strategiile naționale de energie, pentru a stimula investițiile și pentru a facilita penetrarea pieței tehnologiilor solare.
- ✓ *Abordare interdisciplinară.* Teza a adoptat o abordare interdisciplinară, integrând cunoștințe din diverse domenii precum inginerie, știința mediului, economie, sociologie și analiză de politici pentru a dezvolta soluții holistice la provocările energetice.

- ✓ *Caracterizarea holistică.* Teza oferă o caracterizare cuprinzătoare și detaliată a resurselor energetice diverse din Sudan, care includ biomasa, hidroenergia, petrolul, gazele naturale, vântul, geotermia și sursele solare. Această înțelegere holistică formează baza pentru evaluarea potențialului energetic al țării și identificarea soluțiilor durabile.
- ✓ *Accent pe Configurații Hibride și Abordări Diversificate.* Cercetarea pune un accent puternic pe configurațiile hibride și explorarea mai multor resurse energetice. Acest accent subliniază necesitatea unor abordări integrate și diversificate pentru a satisface eficient cerințele energetice în evoluție ale Sudanului. Teza pledează pentru o strategie energetică holistică care să ia în considerare sinergiile dintre diferitele surse regenerabile.
- ✓ *Insights privind Viabilitatea Economică și Fezabilitatea.* Prin descoperirile numerice și analizele economice, teza confirmă viabilitatea economică, versatilitatea și fezabilitatea sistemelor de energie solară în Sudan. Această abordare bazată pe date furnizează insights cuantificabile esențiale pentru decidenții politici, cercetătorii și liderii din industrie implicați în modelarea peisajului energetic.
- ✓ *Contribuția la Discursul Global privind Tranzițiile Energetice Durabile.* Teza se poziționează în cadrul discursului global mai larg privind tranzițiile energetice durabile. Prin evidențierea importanței strategiilor specifice contextului și a potențialului transformator al energiei solare, cercetarea contribuie la dialogul în desfășurare privind modelarea unui viitor energetic durabil și conștient de mediu.

2. Contribuțiile originale ale tezei de doctorat

Contribuțiile originale ale acestei teze, abordând provocările urgente în domeniul energiei globale, sunt deosebite și sunt evidențiate de publicarea lor în reviste cu impact ridicat și numeroase conferințe internaționale indexate. Inovația și importanța cercetării sunt explicate în detaliu în fiecare capitol, cu referințe la publicațiile doctorandului, confirmând contribuțiile semnificative ale acestuia la comunitatea științifică. Teza, intitulată "***Soluții pentru aprovizionarea cu energie a consumatorilor locali din surse regenerabile***", introduce elemente noi și perspective originale care avansează înțelegerea noastră a soluțiilor energetice durabile.

Principalele *contribuții cu mare grad de originalitate* pot fi conturate astfel:

- O prezentare generală a Sudanului, concentrându-se pe resursele sale naturale și pe potențialul neexploatat, cu provocările întâmpinate în utilizarea deplină a acestor resurse

pentru dezvoltare economică și durabilitate. În capitolul 1 s-a abordat disponibilitatea surselor de energie regenerabilă în Sudan, inclusiv energia solară, eoliană și hidroelectrică, subliniind importanța lor în satisfacerea nevoilor energetice ale țării și promovarea sustenabilității mediului înconjurător.

- Realizarea unei prezentări cuprinzătoare a evoluției tehnologiei panourilor solare, în capitolul 2, elucidând parcursul său de la începuturi până la progresele contemporane pentru analiza celor mai bune soluții energetice solare mai eficiente și mai economice.
- Analiza a 11 situri din Sudan, folosind criterii specifice pentru a determina cele mai potrivite locații pentru înființarea stațiilor de energie solară[1].
- Explorarea diverselor tehnici de conectare a panourilor solare și impactul acoperirii norilor asupra generării de energie solară[2].
- Evaluarea eficacității sale ca soluție de încălzire durabilă, de la încălzirea rezidențială la procesele industriale[3].
- Simularea implementării sistemelor de energie solară în configurații diferite, care certifică energiei solare de a satisface cerințele energetice ale comunităților, inclusiv în locații îndepărtate sau izolate de rețeaua electrică[4].
- Explorarea arhitecturilor de conectare și sistemele termice solare [capitolul 3].
- Configurații fotovoltaice optime pentru regiunile sudaneze bazată pe analiza radiației solare, oferă îndrumare practică pentru valorificarea eficientă a energiei solare în diverse contexte geografice[5][6].
- Analiza Viabilității Energiei Termice Solare în Sudan care include dezvoltarea sistemelor de încălzire a apei solare, analize termice și economice riguroase și selecția colectoarelor optime[capitolul 4].
- Aplicație Practică într-un Sat Izolat din Sudan prin evaluarea proiectării și comparației între energia solară și energia convențională pentru alimentarea cu energie a unui sat izolat din Sudan, realizând o dimensiune pragmatică cercetării, evidențiind potențialul soluțiilor de energie regenerabilă în abordarea cererilor de energie localizate[capitolul 5].
- Acest lucru sugerează că strategia cea mai eficientă implică implementarea unui sistem fotovoltaic (PV) pentru generarea electricității și a panourilor termice solare pentru producerea apei calde, capitalizându-se pe eficiența lor în termeni de cost și cerințe reduse de întreținere. Sistemele hibride, deși fezabile, prezintă alternative mai scumpe cu cerințe mai mari de întreținere în comparație cu sistemele PV independente. Costul inițial al PV-ului scade anual, în contrast cu creșterea cheltuielilor asociate cu motorina și transportul, subliniind consecințele semnificative asupra mediului. În schimb, energia solară prezintă

o soluție curată, durabilă și avantajoasă din punct de vedere economic, lipsită de astfel de efecte adverse[7].

- Aceste concluzii provin din analiza efectuată în MATLAB, care a elucidat diverse parametri cruciali pentru configurarea unui sistem de energie solară. Cererea zilnică de energie a fost de 589.50 kWh, cu o cerință anuală totalizând 215167.50 kWh. Suprafața calculată necesară pentru panourile PV a fost de 34.6 m², asociată cu o capacitate de baterie necesară de 6900.00 kWh, necesitând 72 de baterii pentru susținerea sistemului. Costul total estimat al sistemului a fost de 113500.00 USD, cu un cost de 0.671 USD per kWh. În plus, generarea anuală a energiei sistemului a fost estimată la 12113294.13 MWh. Aceste rezultate subliniază fezabilitatea energiei solare ca alternativă sustenabilă și rentabilă la sursele de energie tradiționale. În esență, contribuțiile originale ale tezei de doctorat constau în explorarea sa holistică, aplicațiile practice și insightsurile sale subtile în soluțiile de energie regenerabilă, adaptate specific dinamicii energetice unice a Sudanului. Cercetarea oferă o bază valoroasă pentru eforturile viitoare în urmărirea soluțiilor energetice durabile și relevante local[capitolul 5].
- În esență, contribuțiile originale ale tezei de doctorat rezidă în explorarea sa holistică, aplicațiile practice și înțelegerile subtile în soluțiile de energie regenerabilă, adaptate în mod specific dinamicii unice a energiei din Sudan. Cercetarea oferă o fundație valoroasă pentru eforturile viitoare în căutarea soluțiilor energetice durabile și relevante la nivel local. Contribuțiile principale ale acestei teze de doctorat se rotesc în jurul abordării sale de analiză inovatoare intitulată " *Soluții de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile*". S-au efectuat simulări extinse în cadrul mediului MATLAB pentru a valida constatările. Calitatea și semnificația rezultatelor cercetării sunt subliniate de cele trei publicații în reviste Q2 de renume, două articole în UPB Sci. Bull împreună cu șapte publicații ISI și Scopus, așa cum sunt enumerate în lista de publicații.

3. Perspective de cercetare viitoare

Teza doctorală intitulată "*Soluții de alimentare a consumatorilor locali din surse regenerabile*" inițiază o explorare vitală în domeniul sistemelor alternative de generare a energiei, cu accent specific pe satisfacerea nevoilor energetice ale comunităților locale.

Urmare a cercetărilor efectuate pe parcursul elaborării tezei sugerăm ca pentru viitor ar fi utilă focalizarea cercetărilor pentru:

- ❖ *Implementarea Politicilor Localizate.* Investigarea implementării politicilor localizate pentru a investiga și a simplifica adoptarea soluțiilor de energie regenerabilă, prin evaluarea eficacității cadrului legislativ adaptat pentru promovarea practicilor durabile atât la nivel comunitar, cât și la nivel național, inclusiv în Sudan.
- ❖ *Evaluarea Impactului Socio-Economic.* Realizarea unei evaluări cuprinzătoare a impactului socio-economic al integrării energiei regenerabile, prin analizarea modului în care implementarea sistemelor de energie regenerabilă influențează ocuparea forței de muncă, generarea de venituri și dezvoltarea generală a comunității.
- ❖ *Proiecte de Energie Regenerabilă Centrate pe Comunitate.* Explorarea fezabilității și impactului proiectelor de energie regenerabilă centrate pe comunitate și evaluarea modului în care implicarea comunității în planificarea, implementarea și gestionarea inițiativelor energetice contribuie la sustenabilitate și cultivă un sentiment de proprietate.
- ❖ *Integrarea Practicilor Tradiționale.* Investigarea integrării practicilor și cunoștințelor tradiționale în proiectele moderne de energie regenerabilă și valorificarea cunoștințelor indigene poate îmbunătăți eficiența și acceptarea tehnologiilor de energie regenerabilă în comunități, inclusiv în cele sudaneze.
- ❖ *Analiza Tehnico-Economică a Sistemelor Termice Solare.* Realizarea unei analize tehnico-economice detaliate a sistemelor termice solare, concentrându-se asupra viabilității pe termen lung și a fezabilității economice, cu evaluarea rentabilității și a randamentului investiției în soluții de încălzire a apei și a spațiilor prin energie solară.
- ❖ *Soluții de Stocare a Energiei pentru Satele Izolate.* Explorarea soluțiilor inovatoare de stocare a energiei adaptate nevoilor unice ale satelor izolate și investigarea fezabilității și a viabilității economice a tehnologiilor de stocare a energiei pentru a asigura o alimentare constantă și fiabilă cu energie.
- ❖ *Optimizarea Sistemelor de Energie Hibridă.* Optimizarea suplimentară a sistemelor de energie hibridă prin tehnici avansate de modelare și simulare, prin explorarea modului în care progresele în instrumentele și tehnologiile de simulare pot îmbunătăți performanța și eficiența soluțiilor integrate de energie regenerabilă.
- ❖ *Impactul Schimbărilor Climatice asupra Resurselor Regenerabile.* Evaluarea impactului potențial al schimbărilor climatice asupra disponibilității și eficienței resurselor regenerabile din Sudan. Investigarea strategiilor de adaptare a sistemelor de energie regenerabilă la condițiile climatice în schimbare și asigurarea rezilienței împotriva provocărilor de mediu.

- ❖ *Colaborare Intersectorială pentru Dezvoltare Durabilă.* Promovarea colaborării intersectoriale pentru dezvoltare durabilă prin intermediul energiei regenerabile, prin explorarea parteneriatelor între actorii din domeniul energetic, practicile agricole și industriile locale pentru a crea sinergii care să contribuie atât la sustenabilitatea energetică, cât și la creșterea economică.
- ❖ *Programe de Conștientizare și Educație Publică.* Dezvoltarea și implementarea programelor de conștientizare și educație publică axate pe energia regenerabilă și investigarea eficacității inițiativelor educaționale în promovarea unei înțelegeri mai profunde a tehnologiilor regenerabile și în cultivarea unei culturi a sustenabilității.

Diseminarea rezultatelor - Contribuțiile autorului la dezvoltarea domeniului de cercetare al tezei

Diseminarea rezultatelor evidențiază contribuțiile extinse ale autorului la avansarea domeniului de cercetare al tezei, reflectate prin publicațiile semnificative în reviste și conferințe de prestigiu:

- ***Două articole publicate în revista UPB Sci. Bull.***
- ***Trei articole publicate în reviste cotate Q2.***
- ***Prezentarea a șapte lucrări la conferințe indexate ISI și Scopus.***

Aceste contribuții acoperă o gamă largă de subiecte, inclusiv strategii optime de încărcare pentru sistemele fotovoltaice solare în afara rețelei, evaluarea performanței sistemelor de energie regenerabilă, creșterea participării la energia regenerabilă, analiza radiației solare, modelarea microrețelelor, implicarea dezvoltării orașelor inteligente, modelarea transportului durabil, integrarea energiei regenerabile, analiza climatică, optimizarea eficienței, soluții de generare a energiei independente, proiectarea optimă a sistemelor de energie pentru rezidențe în afara rețelei și optimizarea sistemelor fotovoltaice solare și a sistemelor de energie în afara rețelei.

- 1 **Osman MG**, Ciupageanu D, Stan A. *Analysis of Solar Radiation in Sudan, and Optimal Location of Photovoltaic Panels.* UPB Sci. Bull., Series C. 2022;84(4).
- 2 Strejoiu CV, **Osman MG**, Lazaroiu G ‘*Towards Sustainable Transportation: Modeling and Simulation of PV Panel Implementation on National Highways for Charging Electric Vehicles Which leads to Mitigate Carbon Emission*’ UPB Sci. Bull., Series C. 2023;85(4).
- 3 Dorel S, **Gmal Osman M**, Strejoiu CV, Lazaroiu G. *Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques. Batteries.* 2023 Sep 18;9(9):470. **Q2**

- 4 Lazaroiu G, **Gmal Osman M**, Strejoiu CV. *Performance Evaluation of Renewable Energy Systems: Photovoltaic, Wind Turbine, Battery Bank, and Hydrogen Storage. Batteries*. 2023 Sep 18;9(9):468. **Q2**
- 5 Lazaroiu AC, **Gmal Osman M**, Strejoiu CV, Lazaroiu G. *A Comprehensive Overview of Photovoltaic Technologies and Their Efficiency for Climate Neutrality. Sustainability*. 2023 Nov 24;15(23):16297. **Q2**
- 6 **Osman, M.G.**, Ciupagenau, D.A., Lazaroiu, G. and Pisa, I., 2022, September. *Increasing Renewable Energy Participation in Sudan*. In 2022 11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA) (pp. 169-173). IEEE.
- 7 Strejoiu CV, **Osman MG**, Lazaroiu G. *Analyzing Energy Consumption and Hot Water Usage in the Titan Neighborhood of Bucharest: Implications for Smart City Development*. In 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) 2023 Sep 24 (pp. 1-6). IEEE.
- 8 **Gmal Osman M.**, Strejoiu CV., Panait C., Lazaroiu G., Lazaroiu AC. *Renewable energy integration, climate analysis, and efficiency optimization for greener transportation - case study in Dobrogea*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM; 2023; (pp. 675-687), DOI: 10.5593/sgem2023V/6.2/s27.83
- 9 **Osman MG.**, Strejoiu CV., Panait C., Lazaroiu G., Lazaroiu AC. *Optimal Power System Design for Off-Grid Residences in Dobrogea, Romania: Integrating Renewable Energy and Generator Technology*. 2024 IEEE ATOMS Conference. Accepted.
- 10 Strejoiu CV., **Osman MG.**, Panait C., Lazaroiu G., Dorel S. 'Optimizing Solar Photovoltaic Systems: A Geometric Approach to Enhance Energy Production and Economic Viability' 2024 IEEE ATOMS Conference. Accepted.
- 11 **Osman MG.**, Strejoiu CV., Panait C., Lazaroiu G., Lazaroiu AC 'Microgrid Model for Evaluating the Operational Dynamics of Solar-Powered Hydrogen Production'. IEEE, EE& AE 2024. Accepted.
- 12 Strejoiu CV., **Osman MG.**, Panait C., Lazaroiu G., Dorel S. 'Efficiency evaluation and performance analysis of a photovoltaic park connected to a 20 kV distribution network in Galati County, Romania 'IEEE, EE& AE 2024. Accepted.
- 13 **Osman MG**, EZ. Abdalla, *Modeling of Automatic Generation Control and Automatic Voltage Regulator Under Generation Rate Constraint* UNIVERSITY of KHARTOUM ENGINEERING JOURNAL (UofKEJ) 6 (2), 43-51

Referințe

- [1] "POWER | Data Access Viewer." Accesat: 04 Sep. 2023. [Online]. Disponibil: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> accesat 10/10/2022
- [2] "Sudan | Africa Energy Portal." Accesat: 19 Iun. 2022. [Online]. Disponibil: <https://africa-energy-portal.org/country/sudan>
- [3] "Sudan - Electric power consumption." Accesat: 29 Mai 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.indexmundi.com/facts/sudan/electric-power-consumption>
- [4] A. M. Omer, "Sudan energy background; an overview," *Renew Energy*, vol. 14, nr. 1–4, pp. 467–472, 1998.
- [5] "Sudan - Access to electricity (% of population)." Accesat: 29 Mai 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.indexmundi.com/facts/sudan/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>
- [6] "Sudan energy handbook (1987 edition) | Open Library." Accesat: 19 Mar. 2022. [Online]. Disponibil: https://openlibrary.org/works/OL23029117W/Sudan_energy_handbook
- [7] A. M. Omer, "Renewable energy resources for electricity generation in Sudan," vol. 11, pp. 1481–1497, 2007.
- [8] "Energy Profile: Sudan | UNEP - UN Environment Programme." Accesat: 13 Iun. 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.unep.org/resources/report/energy-profile-sudan>
- [9] "Developing the enabling environment for renewable energy in Sudan – Clean Energy 4 Africa." Accesat: 19 Iun. 2022. [Online]. Disponibil: <https://cleanenergy4africa.org/developing-the-enabling-environment-for-renewable-energy-in-sudan/>
- [10] "IRENA – International Renewable Energy Agency." Accesat: 19 Iun. 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.irena.org/>
- [11] "Best Research-Cell Efficiency Chart | Photovoltaic Research | NREL." Accesat: 13 Feb. 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- [12] "Best Solar Panels in 2022: Top Products Compared | EnergySage." Accesat: 12 Feb. 2022. [Online]. Disponibil: <https://news.energysage.com/best-solar-panels-complete-ranking/>
- [13] "JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission." Accesat: 14 Feb. 2023. [Online]. Disponibil: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [14] "Sudan: Energy Country Profile - Our World in Data." Accesat: 19 Mar. 2022. [Online]. Disponibil: <https://ourworldindata.org/energy/country/sudan#energy-intensity-how-much-energy-does-it-use-per-unit-of-gdp>
- [15] "Integral Collector Storage or ICS for Solar Hot Water." Accesat: 15 Mai 2022. [Online]. Disponibil: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/integral-collector-storage.html>
- [16] T. Mubark Saeed, B. M. Tayeb, și G. Osman, "Sustainable energy potential in Sudan," 2019.
- [17] L. J. Arone, "Sudan—A Country Study, edited by Helen Chapin Metz.(Area Handbook Series) 336 pages, maps, charts, tables, illustrations, bibliography, glossary, index. Washington, DC: Library of Congress, 1992.(Cloth) ISBN 0-8444-0750-X," *Review of Middle East Studies*, vol. 27, nr. 2, pp. 240–241, 1993.
- [18] W. Chen et al., "A manganese–hydrogen battery with potential for grid-scale energy storage," *Nat Energy*, vol. 3, nr. 5, pp. 428–435, 2018.
- [19] F. Yu et al., "Performance Evaluation of a Scaled-Up Membraneless Organic-Based Hybrid Flow Battery," *Batteries*, vol. 9, nr. 7, p. 336, 2023.
- [20] T. Ajadi et al., "Global trends in renewable energy investment 2020," 2020.
- [21] W. Bank, "The World Bank Annual Report 2013." Banca Mondială, 2013.
- [22] M. Debbache, M. Hazmoune, S. Derfouf, D.-A. Ciupageanu și G. Lazaroiu, "Corectarea torsiunii palelor de vânt pentru creșterea producției anuale de energie a turbinelor eoliene," *Sustainability*, vol. 13, nr. 12, p. 6931, 2021.
- [23] S. M. Mousavi G, F. Faraji, A. Majazi și K. Al-Haddad, "O revizuire cuprinzătoare a tehnologiei sistemului de stocare a energiei cu volan zburător," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 477–490, 2017.