

UTILIZAREA ENERGIEI SOLARE

Aplicații și lucrări de laborator

**Aspecte specifice cercetării responsabile
și inovării în practica experimentală**

**GABRIELA MĂNTESCU
GABRIEL GORGHIU**

UTILIZAREA ENERGIEI SOLARE

Aplicații și lucrări de laborator

**Aspecte specifice cercetării responsabile
și inovării în practica experimentală**



**EDITURA UNIVERSITARĂ
București**

Colecția ȘTIINȚE EXACTE

Redactor: Gheorghe Iovan
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
MĂNTESCU, GABRIELA

Utilizarea energiei solare : aplicații și lucrări de laborator : aspecte specifice cercetării responsabile și inovării în practica experimentală / Gabriela Măntescu, Gabriel Gorghiu. - București : Editura Universitară, 2016

Conține bibliografie

ISBN 978-606-28-0508-1

I. Gorghiu, Gabriel

620.9:523.9(075.8)

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062805081

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2016
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București
Tel.: 021 – 315.32.47 / 319.67.27
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021-315.32.47 / 319.67.27 / 0744 EDITOR / 07217 CARTE
comenzi@editurauniversitara.ro
O.P. 15, C.P. 35, București
www.editurauniversitara.ro

Motto: „Miracolul sau puterea care îi înalță
pe unii oameni constă în faptul că au fost motivați
în domeniul lor și în munca pe care o desfășoară,
de perseverență și de un spirit curajos și hotărât”
(Mark Twain)

CUPRINS

Cuvânt înainte	9
1 Soarele – sursă regenerabilă de energie	13
1.1. Caracteristici generale.....	14
1.2. Soarele – în istorie	15
1.3. Radiația solară – noțiuni de bază	18
1.4. Contextul actual de utilizare a energiei solare.....	22
Bibliografie.....	28
2 Energia fotovoltaică	29
2.1. Celula solară – sursă de energie.....	30
2.2. Realizarea celulelor solare	34
2.3. Conexiunile electrice ale celulelor solare	43
2.4. Influența orientării și înclinării celulei PV față de poziția aparentă a Soarelui.....	48
2.5. Celula PV – generator de energie și/sau element de arhitectură.....	49
Bibliografie.....	54
3 Energia solară termică	55
3.1. Captatoare solare plane.....	58
3.2. Aplicații ale captatoarelor solare	60
Bibliografie.....	63
4 Aplicații de laborator	64
4.1. Contextul propus de paradigma Cercetării Responsabile și Inovării	64
4.2. Determinarea poziției Soarelui față de o suprafață înclinată.....	71
4.3. Măsurarea radiației solare	76
4.4. Determinarea parametrilor de funcționare a celulelor fotovoltaice în condiții diferite	80
4.5. Determinarea randamentului de funcționare a unui captator solar fără concentrarea radiației.....	87
4.6. Determinarea temperaturii maxime de stagnare pentru un captator solar.....	94
4.7. Determinarea randamentului instalației solare termice pentru apă caldă	97
4.8. Transferul de căldură printr-un panou fotovoltaic.....	101
Bibliografie.....	107
Anexe	112

CUVÂNT ÎNAINTE

În prezent, în contextul creșterii alarmante a poluării cauzate de producerea energiei din arderea combustibililor fosili, se impune în mod stringent reducerea dependenței de acești combustibili. În acest sens, *promovarea energiilor curate, verzi*, reprezintă soluția adecvată la problema energetică globală. De altfel, sursele regenerabile de energie cuprind o serie de forme de energie rezultate din procese naturale regenerabile, acolo unde ciclul de producere are loc în perioade de timp comparabile cu perioadele lor de consum, la momentul de față, *energia solară, energia eoliană, energia geotermică, energia mareelor sau energia derivată din biomasă*, fiind văzute ca și *alternative viabile*, capabile să limiteze efectele poluării și încălzirii globale, sau chiar să le stopeze.

Aici, se cuvine să amintim două aspecte importante și îmbucurătoare, referitoare la țara noastră:

(a) în fața Comisiei Europene, România și-a asumat ca până în anul 2020, 24% din consumul total de energie să fie din surse regenerabile, ținta cuprinzând atât energia electrică și termică, cât și carburanții. Ea a și fost atinsă de altfel - la 1 ianuarie 2014 -, după cum a comunicat, la acel moment, *Autoritatea Națională de Reglementare în Energie*.

(b) în România, în anul 2015, energia verde a generat 12,5% din producția totală a României, prin

intermediul turbinelor eoliene, panourilor solare și centralelor pe biomasă.

Totuși, întreaga paletă a cunoașterii, despre ceea ce este și ceea ce înseamnă energia verde, are o importanță hotărâtoare pentru viitorul economiei statelor lumii și a mediului înconjurător. De aceea, definitorie este *educația pentru energie verde*, care trebuie să facă parte integrantă din curriculumul școlar, cu scopul declarat de a pregăti cetățeni responsabili și bine informați pe subiectele de interes ale energiei. În același timp, educația pentru energie verde trebuie să ofere un răspuns la provocările majore actuale (combaterea poluării, limitarea schimbărilor climatice) și să instruiască tânăra generație în abordarea problemelor societale, dezvoltând - în special - inițiativa responsabilă și gândirea critică a elevilor și studenților, atât în medii de învățare formale, cât și în cele non-formale, urmărindu-se astfel promovarea unor dezbateri colocviale pe teme controversate, dar și a sesiunilor de argumentare care - de regulă - sunt însoțite de posibile soluții propuse de elevi și studenți, sub îndrumarea cadrului didactic. Aspecte specifice energiilor regenerabile, integrarea modulelor fotovoltaice în clădiri - ca și elemente energetice și arhitecturale - consumatorii activ energetic, abordările legate de orașele *inteligente* ale viitorului în care energia verde joacă un rol esențial, reprezintă reale provocări pentru cadrul didactic și elevi / studenți, care îndeamnă la dezvoltarea cunoașterii și care presupun

viziune, înțelegerea fundamentelor științifice, clarificarea rolului cercetării și inovării, participarea activă în calitate de cetățeni responsabili.

De altfel, *Comisia Europeană* a fost cea care a supus atenției conceptul de *Cercetare Responsabilă și Inovare*, concept care a câștigat foarte mult în vizibilitate în ultima decadă, evoluând din discursul *Știință și inovare cu și pentru societate*, implementat de către Uniunea Europeană în *Programul Cadru 7 pentru Inovație și Cercetare*, cu scopul definit de a încuraja activitățile inovaționale adresate în direcția soluționării problemelor sociale, și având drept viziune obiectivele *Strategiei Europa 2020*. În fapt, *Cercetarea Responsabilă și Inovarea* reprezintă o paradigmă care întâi de toate, propune o investiție mai eficientă în cercetare și inovare, mai cu seamă în contextul actual (cel a unor bugete austere), concentrându-se în același timp asupra provocărilor sociale globale, cum ar fi: schimbările climatice, siguranța alimentară, siguranța energetică etc.

Venind în întâmpinarea actorilor educaționali interesați de domeniul energiei solare, lucrarea de față încearcă să faciliteze înțelegerea problematicii specifice, propunând o abordare didactică, care pleacă de la definirea soarelui ca și sursă inepuizabilă de energie, continuă cu prezentarea sistemului fotovoltaic și a modului în care se realizează conversia energiei solare în energie electrică, respectiv în energie termică, și se încheie cu descrierea unor aplicații de laborator, care

exploatează dimensiuni ale cercetării responsabile, precum: *implicarea* (participarea activă a formabililor în procesul de experimentare), *educația științifică* (instruimentarea formabililor cu un set coerent de cunoștințe și capacități necesare pentru participarea responsabilă în procesul de experimentare și trasare a concluziilor), *accesibilitatea* (asigurarea transparenței și accesului la rezultatele experimentelor, în vederea stabilirii unor moduri de valorificare adecvată la nivelul societății), *etica* (respectarea și valorificarea principiilor eticii în procesul de experimentare), *guvernanța* (conștientizarea rolului pe care îl au decidenții politici în ceea ce privește promovarea și implementarea rezultatelor cercetării din domeniul energiei solare, în politici și strategii care să conducă la îmbunătățirea calității vieții). În fapt, *energia solară* reprezintă una dintre cele mai accesibile forme de energie, fiind considerată o *amprentă energetică* a orașelor inteligente ale viitorului, cu un suport tehnologic impresionant pentru conversia acesteia în energie electrică și termică, dar și cu un potențial important de a fi studiată în mediul educațional, definindu-se astfel într-un

Autorii

CAPITOLUL 1

SOARELE – SURSĂ REGENERABILĂ DE ENERGIE

Soarele, cea mai strălucitoare stea a sistemului nostru solar, sursă a vieții pe Pământ și imens potențial energetic produce, într-un minut, suficientă energie astfel încât să acopere la nivel mondial consumul energetic anual iar, într-o zi, energia necesară estimată pentru o perioadă de 27 de ani.



Figura 1.1. Imaginea Soarelui preluată din spațiul cosmic. Sursa: [1].

1.1. Caracteristici generale

Considerat a fi o stea de mărime mijlocie, cu raza de 695.000 km și volum de $1,42 \cdot 10^{18} \text{km}^3$ Soarele, dezvoltă în spațiul cosmic un flux de energie radiantă de aproximativ $8,8 \cdot 10^{25} \text{ cal/s}$.

Conform studiilor și informațiilor științifice prezentate în literatura de specialitate [2], Soarele se află la jumătatea ciclului evoluției sale având vârsta de aproximativ 4,6 miliarde de ani. Sursa de energie specifică activității din interiorul Soarelui este *fuziunea termonucleară* (proces de fuziune nucleară realizat între doi atomi având ca rezultat un atom cu masa mai mare și o mare cantitate de energie cedată).

Datorită reacțiilor de fuziune desfășurate, în interiorul Soarelui, între două nuclee de deuteriu (un izotop al hidrogenului) cu formarea unui nucleu de heliu și cedarea unei mari cantități de energie, Soarele, este de fapt un imens reactor natural de fuziune. În fiecare secundă, în interiorul Soarelui, aproximativ 600 de milioane de tone de hidrogen sunt transformate în heliu. De fapt, toată materia prezentă în univers a fost, la un moment dat, formată prin fuziunea celui mai ușor element - hidrogenul. În stele, în cadrul proceselor de fuziune nucleară, alături de hidrogen mai fuzionează și alte elemente, reacțiile având ca rezultate crearea de elemente mai grele precum carbonul, azotul, oxigenul, etc. [1].

Aproximativ 90% din energia dezvoltată în partea centrală a Soarelui este transmisă la suprafața acestuia și mai departe, în spațiul cosmic, printr-un șir de procese radiative și convective, succesive, de diverse lungimi de undă, în spectru continuu sau în linii, din care Pământul primește anual, o cantitate de aproximativ $2,8 - 10^{21}$ kJ.

1.2. Soarele – în istorie

Încă din cele mai vechi timpuri, oamenii au apreciat energia Soarelui fiind influențați în mod benefic de prezența sa pe bolta cerească, venerându-l și oferindu-i întruchiparea unui zeu. În antichitate, zeul Soarelui denumit *Șarmaș*, de către babilonieni, *Mitra*, de către persani și *Ra*, de către egipteni, "*se năștea pe cer în fiecare dimineață și murea bătrân, în fiecare seară*".

Cu aproape 3100 de ani î.e.n., pentru civilizația egipteană, Ra – zeul Soarelui - era considerat cel mai puternic dintre toți zeii și tatăl faraonilor, reprezentarea sa fiind cea a unui om având un cap de șoim iar deasupra acestuia un disc solar.

De-a lungul evoluției civilizațiilor, energia Soarelui a fost utilizată în mod activ dar și pasiv. Potrivit unei legende, în anul 212 î.Cr., în timpul asediului de către romani a orașului Siracuza, Arhimede - marele matematician și inventator al Greciei antice și citadin al orașului Siracuza - a direcționat și lumina Soarelui către corăbiile inamice, incendiindu-le.

Romanii au aplicat în mod pasiv energia Soarelui la construcția locuințelor, realizându-le din blocuri masive de piatră pentru a determina reducerea variației temperaturii din interiorul încăperilor, în timpul verii și cu deschideri orientate către sud necesare căldurii solare, pe parcursul iernii.

De-a lungul timpului, rezultatele pozitive ale diferitelor aplicații practice care utilizau energia Soarelui au stimulat dorința oamenilor de știință de a realiza sisteme de conversie și de stocare a energiei solare.

Primul exemplu și totodată cel mai semnificativ în istoria celulelor solare este cel realizat de francezul Antoine César Becquerel, fondator al "dinastiei Becquerel" - patru generații de oameni de știință, [3]. De carieră inginer militar și participant în campaniile desfășurate de Napoleon în Spania și Franța, Antoine César Becquerel s-a dedicat ulterior activității de cercetare din domeniul fizicii și electrochimiei realizând, *în anul 1839, primul element fotovoltaic*. Mai târziu, *în anul 1851*, fiul și asistentul său - Alexandre Edmond Becquerel, a continuat cercetările cu observații asupra *variației tensiunii electromotoare a elementelor galvanice sub acțiunea luminii – efectul Becquerel (fotogalvanic)*.

Pe parcursul anilor, realizările și rezultatele din domeniul conversiei energiei solare au evoluat în mod semnificativ sub diferite forme și aplicații energetice:

1873 - Smith (Marea Britanie) - fotoconductivitatea în seleniu (Se) solid;

1877 - Adams și Day (Marea Britanie) - fotogenerarea curentului în tuburi de Se \Rightarrow prima observație a efectului fotovoltaic în solide;

1883 - Fritts (SUA) - prima celulă solară fotovoltaică (*celulă PV*) cu suprafață mare realizată din film de Se;

1954 - primele celule PV cu eficiență de 6% realizate din Si (Bell Lab, SUA) și din $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS}$ (Air Force, SUA);

1958 - satelitul NASA Vanguard, cu șiruri de celule PV de Si;

1959 - Hoffman Electronics (SUA) - celule PV de Si, cu eficiență de 10%;

1963 - Sharp Corp (JP) - primele module fotovoltaice (module PV) de Si, comerciale;

1972 - prima conferință cu sesiune dedicată fotovoltaicelor (PV) și aplicațiilor terestre cu PV (IEEE);

1982 - prima instalație PV de 1 MW (CA, SUA) cu module PV de Si amplasate pe trackere cu două axe;

1991 - (Michael Grätzel, EPFL, Elveția) - Celula fotoelectrochimică cu pelicule subțiri și pigment fotosensibil;

1995 - proiectul demonstrativ german "1000 de acoperișuri" pentru instalarea panourilor PV pe acoperișurile locuințelor;

2002 - sisteme fotovoltaice de 2000 MW, instalate la nivel mondial;

2016 - Avionul Solar Impulse 2, propulsat în mod independent cu ajutorul a peste 17.000 de celule fotovoltaice.

1.3. Radiația solară - noțiuni de bază

Radiația solară este reprezentată de propagarea energiei sub formă de unde electromagnetice. Spectrul radiației solare – *totalitatea liniilor spectrale* – a fost observat în anul 1802 de către chimistul englez William Wide Wollaston, cel care a reușit să înregistreze în cadrul experiențelor sale 7 linii transversale; mai târziu, în anul 1814, fizicianul german Joseph Ritter von Fraunhofer reușește să identifice în spectrul solar 574 de linii fixe întunecate, în prezent, fiind cunoscute milioane de astfel de linii fixe întunecate denumite *linii de absorbție atomică*.

Conform concluziilor științifice și noțiunilor prezentate în [4] spectrul de emisie al radiației solare este compus din:

- radiații de undă scurtă - raze x, γ și ultraviolete - circa 9%),
- radiații luminoase vizibile - circa 41%,
- radiații de unde lungi - raze infraroșii - circa 50%.

Proiectarea și analiza comportamentului în funcționare a centralelor energetice solare este

dependentă de radiația solară, cei mai importanți parametri utilizați fiind:

- *fluxul integral de energie radiantă emis de către Soare și receptat pe Pământ* - este cantitatea de energie care vine de la Soare și cade, în unitatea de timp, pe o suprafață dispusă perpendicular pe direcția razelor solare, la distanța de o unitate astronomică (149.450.000 km) de Centrul Soarelui; pentru acest parametru, a fost definită *constanta solară* E_0 , având valoarea de 1353 W/m² [4];

- *distribuția spectrală a radiației solare*, pe diferite lungimi de undă

$$E_0 = \int I_\lambda \cdot d\lambda \quad (1.1)$$

unde:

$$I_\lambda = \text{intensitatea de radiație, (W/m}^2 \cdot \mu\text{m)}$$

La străbaterea straturilor dense ale atmosferei sunt reținute razele x, γ și o parte din cele ultraviolete, o altă parte din radiații sunt reținute de vaporii de apă și de bioxidul de carbon existenți în atmosferă.

Figura 2.1 prezintă, conform [5] distribuția energiei solare la suprafața Pământului (intensitatea de radiație în funcție de lungimea de undă).

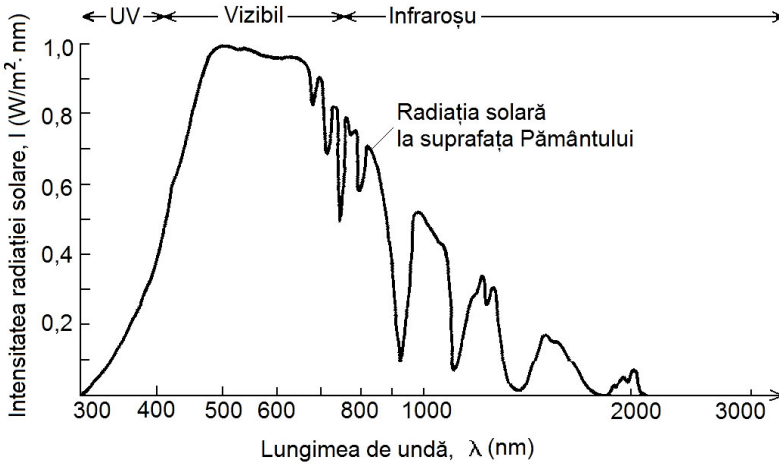


Figura 1.2. Distribuția radiației solare la suprafața Pământului.

Sursa [5]

Atmosfera se încălzește prin procesele de absorbție producându-se o radiație cu lungime de undă mare numită *radiație atmosferică*. În domeniul lungimii de undă $\lambda = 0,3...1 \mu\text{m}$ radiația este împrăștiată difuz datorită reflexiei de către moleculele de aer (difuzia Rayleigh), definindu-se astfel *radiația bolții cerești* – radiația cu lungime de undă scurtă.

În cazul cerului senin, *radiația solară directă* este maximă și cea a bolții cerești este minimă (*radiația solară difuză*), spre deosebire de cazul unui cer cu nebulozități crescute pentru care valorile radiației solare difuze sunt mai mari față de cele ale radiației solare directe, creșterea nebulozității determinând totuși, scăderea