



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

EVALUAREA ENERGIEI SOLARE INCIDENTE PE COLECTORII CU AXĂ FIXĂ EST-VEST ÎN REGIUNEA TIMIȘOAREI

Aldo DE SABATA, Ioan LUMINOSU,
Coleta DE SABATA, Traian JURCA

EVALUATION OF SOLAR ENERGY INCIDENT ON SOLAR COLLECTORS WITH FIXED EAST-WEST AXIS IN THE REGION OF TIMIȘOARA

The solar energy incident monthly and yearly on mobile solar collectors with fixed east-west axis is evaluated and compared to solar energy incident on fixed solar collectors. The calculation is based on hourly global and diffuse radiation data measured in Timișoara, Romania in 2009 and on an isotropic radiation model. Results are useful for design and evaluation of solar installations.

Keywords: solar energy, solar collectors, mobile model of isotropic radiation

Cuvinte cheie: energie solară, colectori solari mobili, model de radiație izotrop

1. Introducere

Importanța energiei produse din resurse regenerabile crește pe măsură ce resursele clasice se epuizează și utilizarea lor duce la deteriorarea mediului ambiant. De aceea, pentru economiile naționale prezintă importanță evaluarea potențialului existent în aceste resurse [1...3]. Pe plan local, pentru regiunea județului Timiș există evaluări pertinente și concepte durabile pentru utilizarea resurselor de energie regenerabilă, dezvoltate prin activitatea autorităților locale [4].

Este necesar ca datele globale să fie îmbogățite prin note, calcule și evaluări detaliate la nivelul fiecărei resurse de energie regenerabilă și locație geografică. Nu mai puțin necesară este și concepția unor programe de calcul care pot fi puse la dispoziția investitorilor în instalații solare. Din acest punct de vedere, este cunoscut faptul că utilizarea energiei solare poate fi eficientizată prin folosirea colectoarelor mobile care urmăresc traiectoria Soarelui. Instalațiile care se bazează pe astfel de colectoare sunt evident mai scumpe decât cele care se bazează pe colectoare fixe, motiv pentru care este important să se evalueze câștigul realizat în acest fel înainte de demararea investiției.

În ultima vreme există preocupări susținute pentru caracterizarea matematică a diferitelor tipuri de colectoare mobile, mai ales pentru concepția algoritmilor de comandă și control [5, 6]. Colectoarele cu urmărire a traiectoriei Soarelui cele mai răspândite sunt cu axă fixă: est-vest, nord-sud, paralele cu axa pământului sau cu verticala locului [7, 8]. Există și colectoare care urmăresc Soarele prin rotație în jurul a două axe.

În această lucrare prezentăm rezultatele evaluării energiei solare incidente lunar și anual pe colectori cu axă fixă est-vest și ale comparației acestora cu cea incidentă pe colectori solari ficși. De asemenea, pentru exemplificare, prezentăm rezultatele aceluiași tip de evaluare pentru luna iulie. Am folosit ca date primare rezultatele măsurătorilor de radiație pentru anul 2009 obținute la Universitatea de Vest din Timișoara și disponibile pe Internet [9, 10]. Pornind de la datele de radiație de fascicul și difuză, am folosit un model izotrop pentru calculul radiației incidente pe colectori¹.

În secțiunea următoare se prezintă modelul matematic folosit, în secțiunea a III-a sunt date rezultatele evaluării sub formă grafică, iar concluziile sunt stabilite în ultima secțiune.

2. Metoda de calcul

Datele de radiație sunt intensitatea orară a radiației globale pe o suprafață orizontală I_{gh} și intensitatea orară a radiației difuze I_{dh} . Prin diferență, se obține intensitatea radiației de fascicul $I_{bh} = I_{gh} - I_{dh}$. Vom folosi definițiile mărimilor geometrice care descriu poziția Soarelui și poziționarea suprafeței plane colectoare din [8].

¹ După cum se știe, un astfel de model duce de obicei la o ușoară subevaluare a situației reale [7].

Conform modelului radiației izotrope [7], intensitatea radiației totale pe suprafața colectoare definite prin colatitudinea s și unghiul azimutal γ în raport cu sistemul local (având axa z verticală și axa x dirijată spre sud) este

$$I_{ch} = I_{bh} \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} + I_{dh} \left(\frac{1 + \cos(s)}{2} \right) + (I_{gh}) \rho_g \left(\frac{1 - \cos(s)}{2} \right) \quad (1)$$

unde θ este unghiul dintre normala la suprafața colectoare și direcția Soarelui, θ_z este unghiul zenital, iar ρ_g este coeficientul de reflexie difuză, a cărei valoare o considerăm în continuare $\rho_g = 0,55$ (valorile sale fiind între 0,5 și 0,6). Primul termen din membrul drept din (1) este iradiația directă sau de fascicul.

Am neglijat în calculele prezentate mai jos radiația directă corespunzătoare unor unghiuri azimutale mai mari sau mai mici decât 90° , deși datele respective erau disponibile. Această radiație este prezentă datorită refracției razelor de soare în atmosferă, dar are valori foarte mici și valorile măsurate pot fi afectate de erori.

Notăm cu $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ [h] orele solare corespunzătoarelor orelor legale în care Soarele luminează colectorul. Atunci iradierea diurnă a acestuia este

$$I_{cd} = 3600 \sum_{k=2}^N I_{ch} (k-1) \int_{\tau_{k-1}}^{\tau_k} \cos(\theta) d\tau \quad [\text{J}]. \quad (2)$$

Între timpul solar τ și unghiul solar ω (pozitiv spre vest și negativ spre est în [8]) există relația

$$\omega = \frac{\pi}{12} (12 - \tau). \quad (3)$$

Efectuând această schimbare de variabilă în (2) rezultă

$$I_{cd} = 3600 \times \frac{12}{\pi} \sum_{k=2}^N I_{ch} (k-1) \int_{\omega_k}^{\omega_{k-1}} \cos(\theta) d\omega. \quad (4)$$

Considerăm cele trei cazuri: (i) colector fix, (ii) colector cu axă est-vest fixă și reglare la prânz în fiecare zi pentru minimizarea unghiului θ și (iii) reglare continuă pentru minimizarea lui θ .

În toate cazurile sunt importante legile de comandă pentru unghiurile s și γ și legea de variație a unghiului θ . Notăm cu φ latitudinea locului în care se află colectorul, cu δ declinația, presupusă constantă în cursul unei zile și cu G *factorul geometric* egal cu integrala din (4).

Cazul (i): unghiurile s și γ sunt fixe, iar

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \cos(\delta)(\sin(\varphi)\sin(s)\cos(\gamma) + \cos(\varphi)\cos(s))\cos(\omega) \\ & + \cos(\delta)\sin(s)\sin(\gamma)\sin(\omega) \\ & - \sin(\delta)(\cos(\varphi)\sin(s)\cos(\gamma) - \sin(\varphi)\cos(s)) \end{aligned} \quad (5)$$

Calculul factorului geometric este imediat:

$$\begin{aligned} G = & \cos(\delta)(\sin(\varphi)\sin(s)\cos(\gamma) + \cos(\varphi)\cos(s))(\sin(\omega_1) - \sin(\omega_2)) \\ & + \cos(\delta)\sin(s)\sin(\gamma)(\cos(\omega_2) - \cos(\omega_1)) \\ & - \sin(\delta)(\cos(\varphi)\sin(s)\cos(\gamma) - \sin(\varphi)\cos(s))(\omega_1 - \omega_2) \end{aligned} \quad (6)$$

Cazul (ii): avem

$$\gamma = \begin{cases} 0, & \varphi > \delta \\ \pi, & \varphi < \delta \end{cases}, \quad s = |\varphi - \delta| \quad (7)$$

și

$$\cos(\theta) = \sin^2(\delta) + \cos^2(\delta)\cos(\omega). \quad (8)$$

Și în acest caz, calculul factorului geometric este imediat:

$$G = (\omega_1 - \omega_2)\sin^2(\delta) + (\sin(\omega_1) - \sin(\omega_2))\sin^2(\delta) \quad (9)$$

Cazul (iii):

$$\gamma = \begin{cases} 0, & -\frac{\pi}{2} < \gamma_S < \frac{\pi}{2} \\ \pi, & \frac{\pi}{2} < \gamma_S < \frac{3\pi}{2} \end{cases}, \quad \tan(s) = \tan(\theta_z) |\cos(\gamma_S)| \quad (10)$$

unde γ_S este unghiul azimutal al Soarelui și

$$\cos(\theta) = \sqrt{1 - \cos^2(\delta) \sin^2(\omega)}. \quad (11)$$

În acest caz avem:

$$G = E(\omega_1 \setminus \delta) - E(\omega_2 \setminus \delta) \quad (12)$$

unde $E(\omega \setminus \delta)$ este integrala eliptică incompletă de speța a doua în formă Fresnel [11].

3. Rezultate

Iradiațiile lunare pe suprafețele colectoarelor au fost calculate cu mediul de programare Matlab [12] și sunt reprezentate în figura 1 iar cele anuale sunt sintetizate în tabelul 1 (iradiațiile anuale $[GJ/m^2]$ în 2009 în regiunea Timișoarei). S-au folosit datele pentru Timișoara: latitudine $45^\circ 46'$, longitudine $21^\circ 25'$. Colectorul fix s-a considerat înclinat la un unghi de 45° spre sud. Pentru calculul orelor solare, declinațiilor, unghiurilor azimutale etc. s-au folosit proceduri standard [8].

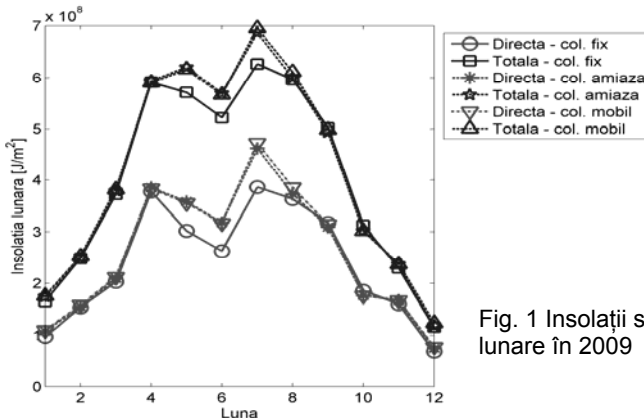


Fig. 1 Insolații specifice lunare în 2009

Se observă că utilizarea colectoarelor reglabili cu axă fixă est - vest este recomandabilă între lunile aprilie și septembrie, când și radiația solară este mai importantă și recurgerea la instalații solare este justificată. Colectorii reglabili continuu aduc un câștig minor în raport cu cei reglabili doar o dată pe zi pentru minimizarea unghiului de incidență. În figura 2 sunt reprezentate iradiațiile zilnice pentru luna iulie. Iradiațiile lunare sunt raportate în tabelul 2 (iradiațiile lunare [MJ/m²] pentru iulie 2009 în regiunea Timișoarei) și pot fi coroborate cu datele din figura 1. Se observă că utilizarea colectoarelor mobili aduce un câștig semnificativ în această lună.

Diferența între rezultatele corespunzătoare colectoarelor reglați o dată pe zi și cele corespunzătoare colectoarelor reglați continuu este, ca mai sus, destul de mică în general.

Tabelul 1

	Colector fix	Colector cu reglare la amiază	Colector cu reglare continuă
Radiație de fascicul	2,88	3,10	3,13
Radiație globală	4,85	5,02	5,05

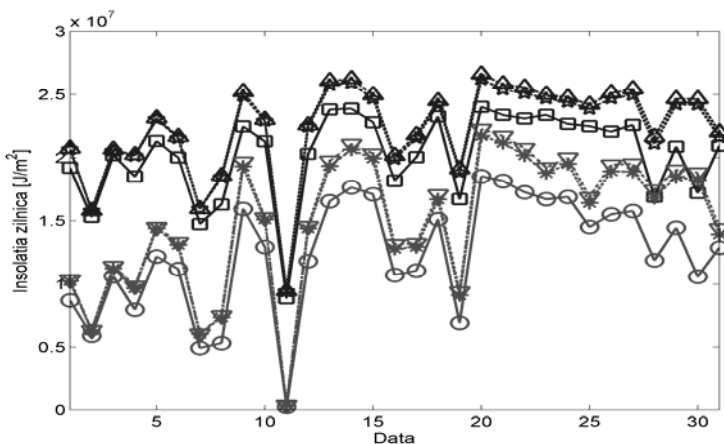


Fig. 2 Insolații specifice zilnice pentru luna iulie 2009. Curbele sunt marcate ca în figura 1

Tabelul 2

	Colector fix	Colector cu reglare la amiază	Colector cu reglare continuă
Radiație de fascicul	386	462	473
Radiație globală	627	687	695

4. Concluzii

■ În lucrare s-a prezentat un calcul al iradiațiilor lunare și anuale pe suprafețele colectoare cu axă fixă est-vest în trei cazuri: colectori fiși, colectori cu reglare o dată pe zi la amiază pentru minimizarea unghiului de incidență și colectori reglabili continuu pentru minimizarea unghiului de incidență.

■ Pentru exemplificare s-a ales regiunea Timișoarei în anul 2009, alegere motivată de existența unei baze de date conținând iradiațiile totale și difuze orare pe suprafețe orizontale.

■ Metoda de calcul propusă poate fi utilă pentru proiectarea instalațiilor solare în funcție de disponibilitățile locului de funcționare.

■ Calculul radiației incidente pe alte tipuri de colectori cu poziție reglabilă va constitui subiectul unor lucrări viitoare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Arif, Ozgur, M., *Review of Turkey's renewable energy potential*, Renewable Energy 33, pag. 2345-2356, 2008.
- [2] Ruiz, B.J., Rodriguez-Padilla, V., Martinez, J.H., *Renewable energy sources in the Mexican electricity sector*, Renewable Energy 33, pag. 1346-1353, 2008.
- [3] Suri, M., Huld, T.A., Dunlop, E.D., Ossenbrink, H.A., *Potential of solar energy generation in the European Union and candidate countries*, Solar Energy, 81, pag. 1295-1305, 2007.
- [4] * * * *Sprijin în dezvoltarea unui concept durabil pentru energiile regenerabile în județul Timiș*, workshop în cadrul proiectului PHARE CBC Ro-Hu 2006, contract RO-2006/018-446.01.01.07.
- [5] Rap-Arraras, I., Domingo-Santos, J.M., *Algorithm for the calculation of the horizontal coordinates of the Sun via spatial rotation matrices*, Renewable Energy, 34, pag. 876-882, 2009.

- [6] Chen, Y.T., Lim, B.H., Lim, C.S., *General sun tracking formula for heliostats with arbitrarily oriented axes*, Journal of solar energy engineering, vol. 128, pag. 245-250, May 2006.
- [7] Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, second edition, New York, John Wiley and Sons, 1990.
- [8] De Sabata, C., Luminosu, I., De Sabata, A., *Tradiție și perspective în Energetica Solară la Universitatea "Politehnica" din Timișoara*, Timișoara, Excelsior Art, 2010.
- [9] *** <http://solar.physics.uvt.ro>
- [10] Paulescu, M., Dughir, C., Tulcan-Paulescu, E., Lascu, M., Gavrilă, P., Jurca, T., *Solar radiation modeling and measurements in Timișoara, Romania, data and model quality*, Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ), vol. 9, no. 8, pag. 1089-1095, 2010.
- [11] Abramovitz, M., Stegun, I.A., *Handbook of Mathematical Functions*, Washington, NBS, 1970.
- [12] *** Matlab 7, The Mathworks Inc.

Prof.Dr.Ing. Aldo DE SABATA,
Departamentul de Măsurări și Electronică Optică
email: aldo.desabata@etc.upt.ro
Lect.Dr fiz Ioan LUMINOSU,
Departamentul de Bazele Fizice ale Ingineriei
email: ioan.luminosu@fiz.upt.ro
Prof.Dr.Ing. Coleta DE SABATA,
Departamentul de Bazele Fizice ale Ingineriei
email: c_de_sabata@yahoo.com
Prof.Dr.Ing. Traian JURCA,
Departamentul de Măsurări și Electronică Optică
traian.jurca@etc.upt.ro

Universitatea "Politehnica" din Timișoara,
membri AGIR