

# ENERGIA SOLARĂ

## PARTICULARITĂȚI ALE ENERGIEI SOLARE

### Considerații privind radiația solară

*Soarele reprezintă sursa de energie a Pământului, contribuind la menținerea temperaturii planetei mult peste valoarea de aproape 0K întâlnită în spațiul interplanetar și este singura sursă de energie capabilă să întrețină viața pe Pământ.*

Soarele poate fi considerat ca o sferă având diametrul de cca. 1.4 milioane km, mai precis  $1.39 \times 10^9$  m (Duffie, Beckman, 1980), aflată la o distanță de cca. 150 milioane km de Pământ adică  $1.5 \times 10^{11}$  m (Duffie, Beckman, 1980). Această distanță este atât de mare încât două drepte care pornesc dintr-un punct de pe suprafața Pământului spre două puncte diametral opuse ale discului solar, formează un unghi de aproximativ o jumătate de grad. În aceste condiții, cu toate că radiația solară este emisă în toate direcțiile, se poate considera că razele solare care ajung la suprafața Pământului sunt paralele.

În miezul Soarelui se desfășoară în continuu reacții de fuziune nucleară, prin care hidrogenul este transformat în heliu. În prezent compoziția masică a Soarelui este de cca. 71% hidrogen, 27.1% heliu, 0.97% oxigen și alte elemente în concentrații mai reduse (Chaisson E, McMillan S, 2010). Viteza de conversie a hidrogenului în heliu este de cca. 4.26 milioane tone pe secundă (<http://en.wikipedia.org/wiki/Sun>). Acest debit de substanță se transformă în mod continuu în energie. Se estimează că în acest ritm, în următorii 10 milioane de ani, se va consuma cca. 1% din cantitatea actuală de hidrogen, deci nu există un pericol iminent de epuizare a sursei de energie a Soarelui. Durata de viață a Soarelui este estimată la cca. 4...5 miliarde de ani.

Considerând debitul masic de substanță solară care se consumă continuu transformându-se în energie  $\dot{m} = 4.26$  milioane t/s =  $4.26 \cdot 10^9$  kg/s, puterea termică a radiației solare emise în urma acestui proces (P), se poate calcula pornind de la celebra ecuație a lui Einstein pentru calcul energiei (E):

$$E = m \cdot c^2 \text{ [J]}$$

$$P = \dot{m} \cdot c^2 \text{ [W]}$$

unde:

c – viteza luminii:  $c = 300000$  km/s =  $3 \cdot 10^8$  m/s

Înlocuind în relația de calcul a puterii termice a radiației emise de Soare, se obține:

$$P = 4.26 \cdot 10^9 \cdot 3^2 \cdot 10^{8 \cdot 2} = 38.34 \cdot 10^{25} \text{ W}$$

Puterea specifică a radiației emise de Soare ( $P_S$ ), reprezentând puterea radiației emise de unitatea de suprafață, se poate calcula cu relația:

$$P_S = \frac{P}{S_S} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

unde:

$S_S$  – suprafața totală a Soarelui:  $S_S = 6.08 \cdot 10^{12} \text{ km}^2 = 6.08 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$

Înlocuind se obține:

$$P_S = \frac{38.34 \cdot 10^{25}}{6.08 \cdot 10^{18}} = 63.059 \cdot 10^6 \frac{W}{m^2} = 63.059 \frac{MW}{m^2}$$

Pentru comparație, se menționează că puterea maximă dezvoltată de motorul Renault K7M (1.6 MPI) care echipează unul din modelele autoturismului Dacia Logan, este de 64 kW, la turația maximă de 5500 rot/min. Astfel puterea specifică a radiației emise de Soare ( $P_S$ ) este aproximativ echivalentă cu cea a 1000 motoare care echipează Dacia Logan 1.6 MPI, care funcționează la turația maximă. Având în vedere că lungimea unui asemenea autoturism este de 4.26 m, cele 1000 autoturisme așezate unul după celălalt, în linie dreaptă, bară la bară s-ar înșira pe o distanță de 4.26 km.

Având în vedere că Soarele emite radiație pe toate lungimile de undă, poate fi considerat un corp negru absolut, iar puterea emisă în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață, de către un corp negru absolut (adică tocmai  $P_S$ ) depinde numai de temperatura acestuia și poate fi calculată conform legii lui Boltzmann, cu relația:

$$P_S = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

unde:

$\sigma$  – constanta lui Boltzmann:  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$T$  – temperatura corpului negru absolut (Soarelui) [K].

Cu ajutorul acestei relații, poate fi determinată valoarea temperaturii suprafeței Soarelui:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_S}{\sigma}} \text{ [K]}$$

Înlocuind se obține:

$$T = \sqrt[4]{\frac{63.059 \cdot 10^6}{5.67 \cdot 10^{-8}}} = 5774 \text{ K} \approx 5500^\circ \text{ C}$$

Această valoare corespunde cu cea indicată de majoritatea surselor bibliografice, ceea ce confirmă și faptul că toate calculele efectuate sunt corecte.

Pot fi considerate două temperaturi ale Soarelui, ca și corp negru absolut (care emite radiație pe toate lungimile de undă):

- Temperatura suprafeței corpului negru absolut care emite aceeași cantitate de energie ca și Soarele, este de 5777 K, adică 5504°C (Duffie, Beckman, 1980);
- Temperatura suprafeței corpului negru absolut care emite un spectru de radiație având aceeași lungime de undă corespunzătoare intensității maxime a radiației, ca și radiația solară, este de 6300 K adică 6027°C (Duffie, Beckman, 1980).

Temperatura miezului Soarelui, se estimează că variază între  $(8..40) \cdot 10^6$  K (Duffie, Beckman, 1980).

Se poate considera că radiația solară este emisă uniform în toate direcțiile și poate fi regăsită în tot sistemul Solar. Intensitatea radiației solare disponibile datorită acestui mecanism, depinde în mod evident de distanța față de Soare, iar puterea termică a radiației solare este distribuită uniform pe suprafețe sferice, având Soarele în centru.

Puterea termică a radiației emise de Soare ( $P = 38.34 \cdot 10^{25}$  W), poate fi calculată, pe aceste considerente, cu relația:

$$P = I_S \cdot S_S \text{ [W]}$$

unde:

$I_S$  [W/m<sup>2</sup>] – Intensitatea radiației disponibile pe unitatea de suprafață a unei sfere având Soarele în centru

$S_S$  [m<sup>2</sup>] – Suprafața sferei pe care se calculează intensitatea radiației solare.

Cu ajutorul relației de calcul prezentate anterior, intensitatea radiației solare raportate la unitatea de suprafață a unei sfere având Soarele în centru ( $I_S$ ), poate fi calculată cu relația:

$$I_S = \frac{P}{S_S} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

unde:

$$S_S = 4 \cdot \pi \cdot D^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

Înlocuind în relația anterioară, se obține:

$$I_S = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot D^2} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Astfel, intensitatea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, se poate calcula cu ajutorul relației anterioare, considerând că D este distanța dintre Pământ și Soare  $D = 149597871 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .

$$I_S = \frac{38.34 \cdot 10^{25}}{4 \cdot \pi \cdot 1.496^2 \cdot 10^{11.2}} = 1.364 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Intensitatea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, poartă denumirea de *constanta solară*.

Valoarea constantei solare calculată anterior, corespunde cu valoarea adoptată de World Radiation Center, de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Această valoare este raportată și de numeroase surse bibliografice. Valoarea constantei solare, care este determinată prin măsurători realizate cu ajutorul sateliților, a suferit mai multe corecții de-a lungul timpului, așa cum se observă în tabelul alăturat.

Valori acceptate de-a lungul timpului, pentru constanta solară

<b>Valoarea</b>	<b>Anul</b>	<b>Apartenența</b>
1322	1952	Abbot C.G.
1395	1954	Johnson
$1353 \pm 1.5\%$	1971	NASA
$1373 \pm 2\%$	1977	Frohlich
1368	1981	Willson
1373	1982	Hickey
1367	1982	Duncan
$1367 \pm 1\%$	-	World Radiation Center

Valoarea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, suferă de-a lungul anului, mici variații de cca.  $\pm 3\%$ , datorate în principal fluctuațiilor distanței dintre Pământ și Soare (Duffie, Beckman, 1980).

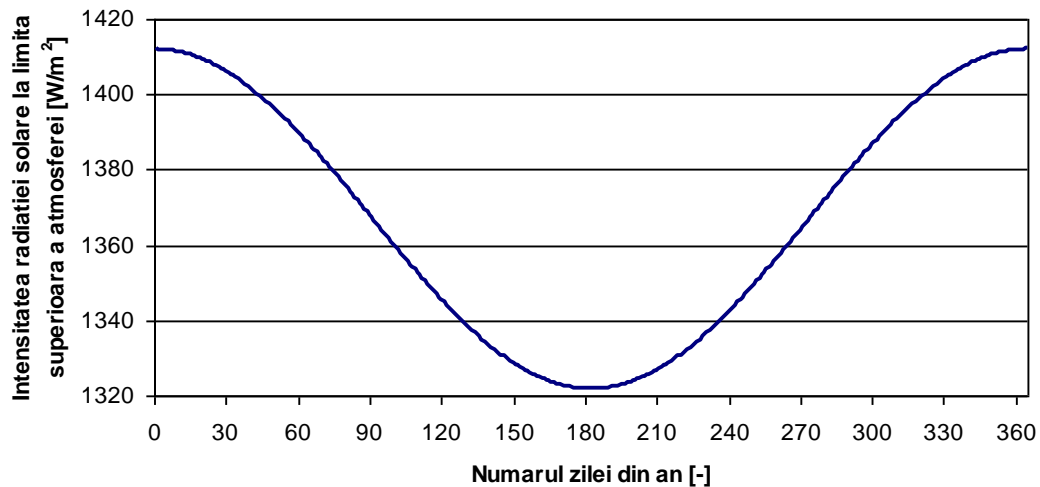
Dependența radiației solare instantanee ( $I_i$ ) disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, în pe durata unui an, poate fi determinată cu relația următoare (Duffie, Beckman, 1980):

$$I_i = I_s \cdot \left( 1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \left[ \text{W/m}^2 \right]$$

unde

$n$  este numărul zilei din an.

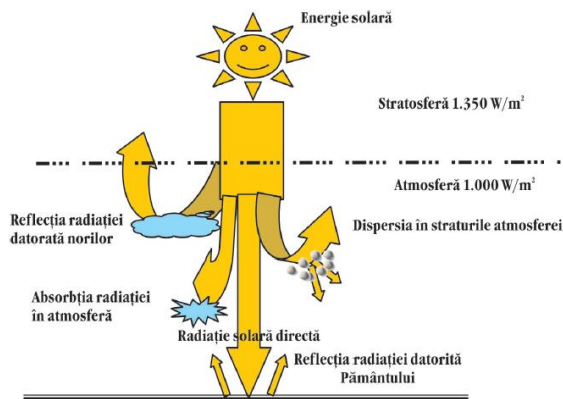
Această dependență poate fi reprezentată grafic, ca în figura alăturată.



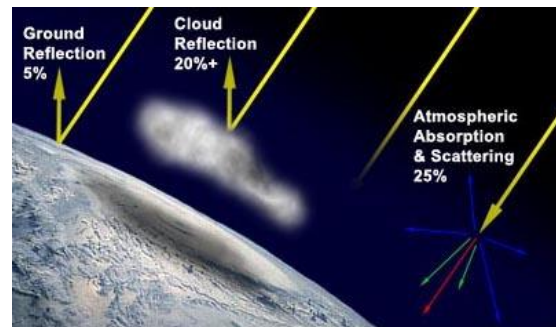
Intensitatea radiației solare care ajunge la suprafața pământului este mai mică decât constanta solară, deoarece în timp ce traversează atmosfera terestră, cu o grosime de peste 50 km, chiar și în condiții de cer senin, intensitatea radiației solare este redusă treptat pe o direcție perpendiculară la suprafața Pământului, cu cca. 15...30% în funcție de perioada din an. Mecanismele prin care se modifică intensitatea radiației solare, la traversarea atmosferei, sunt în principal absorbția și difuzia.

**Observație:** Difuzia este fenomenul fizic în urma căruia, anumite forme de radiație, cum sunt lumina, sunetul sau particule în mișcare, sunt determinate să devieze de la traiectoria rectilinie, de una sau mai multe neuniformități (impurități) localizate în mediul pe care acestea îl traversează. Uzual, radiația difuză include și radiația deviată față de unghiul determinat de legile reflexiei. Radiația Rayleigh (denumită astfel după fizicianul englez Lordul Rayleigh) este difuzia elastică a luminii sau altor forme de radiație electromagnetică, determinată de particule cu dimensiunea mult mai mică decât lungimea de undă a acelei radiații, care pot fi reprezentate de atomi sau molecule individual. Acest tip de difuzie se poate manifesta când lumina traversează solide și lichide, dar este cel mai adesea întâlnită în gaz. Radiația Rayleigh este influențată de polarizarea electrică a particulelor. Difuzia Rayleigh produsă de atmosferă asupra radiației solare, este responsabilă de culoarea albastră a atmosferei. Difuzia Rayleigh împreună cu difuzia datorată norilor, reprezintă componente ale radiației difuze. Radiația directă este acea componentă a radiației totale care ajunge la suprafața pământului, fără a fi afectată de fenomenele de difuzie.

Modificările produse de atmosfera și suprafața Pământului, asupra radiației solare, sunt sugerate în figurile alăturate.



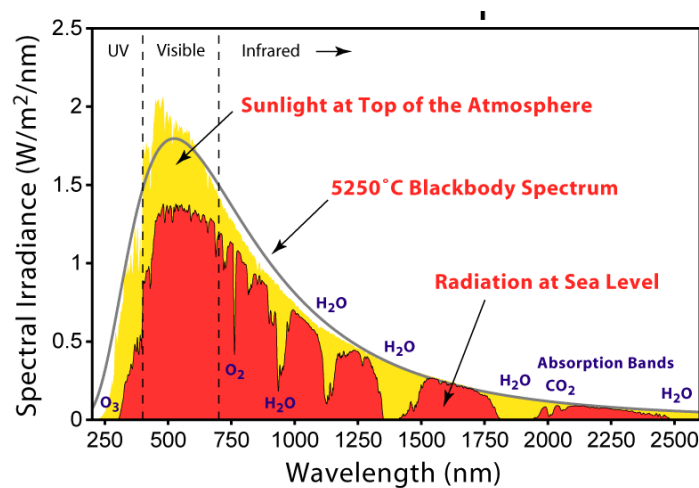
Schema interacțiunilor dintre energia solară și atmosfera, respectiv suprafața terestră  
Rev. Tehnica Instalațiilor nr. 5/2003



Efectele atmosferei asupra radiației solare.  
Uneori la suprafața Pământului ajunge sub 50% din radiația solară de la periferia atmosferei.  
[http://squ1.org/wiki/Solar\\_radiation](http://squ1.org/wiki/Solar_radiation)

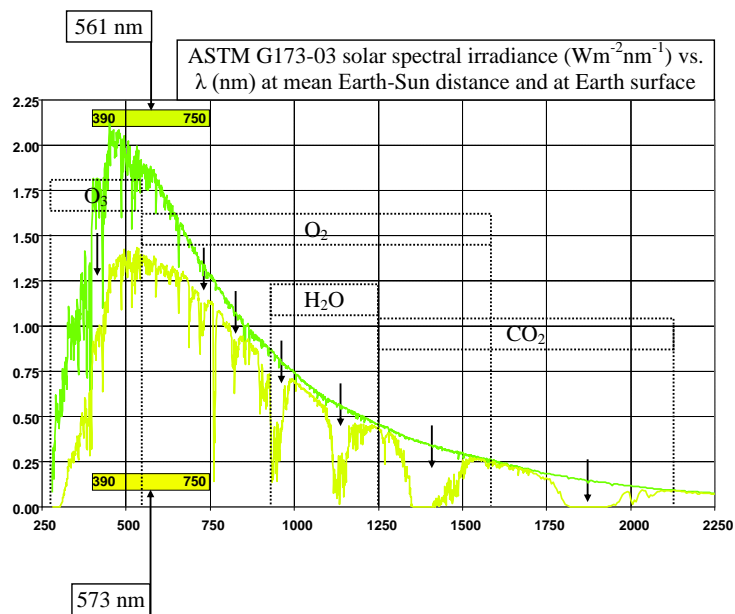
Chiar și în condiții de cer senin, radiația care ajunge la suprafața Pământului, din toate direcțiile în urma fenomenului de difuzie, denumită și *radiație difuză*, reprezintă 5...15% din valoarea fluxului de radiație solară care ajunge la suprafața Pământului fără a fi afectată de acest fenomen, denumită *radiație directă*. Împreună, radiația directă și cea difuză, reprezintă așa numita *radiație totală*.

Figura alăturată prezintă spectrul radiației solare la marginea atmosferei și la suprafața Pământului, comparativ cu cel corespunzător unui corp negru absolut având temperatura de 5250°C și este disponibilă pe internet.



Spectrul radiației solare.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar\\_Spectrum.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png)

Figura alăturată prezintă spectrul radiației solare la marginea atmosferei și la suprafața Pământului, împreună cu domeniile în care anumite componente ale radiației spectrale sunt absorbite de diverse gaze din atmosferă.



Spectrul radiației solare.

[http://ph.academicdirect.ro/General\\_Chemistry\\_Course\\_v5.pdf](http://ph.academicdirect.ro/General_Chemistry_Course_v5.pdf)

Pe figură se observă că în timp ce traversează atmosfera, radiația solară este parțial absorbită de anumite gaze componente ale acesteia, în special pe anumite lungimi de undă.

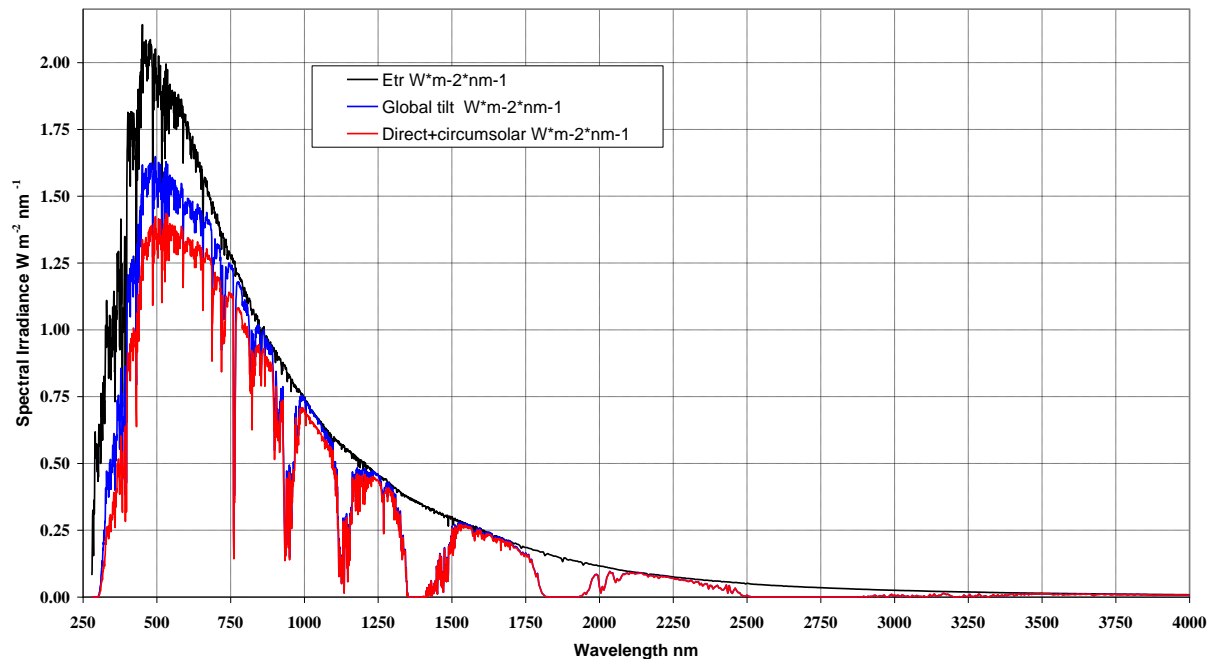
Atmosfera terestră absoarbe aproape complet radiația X și o mare parte din radiația ultraviolet (UV). Unele componente ale atmosferei (vapori de apă,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , și alte gaze) contribuie la absorbția parțială a radiației solare, conform figurii prezentate.

În general, radiația absorbită este transformată în căldură, care este retransmisă în atmosferă sub formă de radiație difuză, în toate direcțiile.

Prin acest proces, atmosfera se încălzește și produce la rândul ei o radiație cu lungime de undă mare, denumită radiație atmosferică sau radiația bolții cerești.

În conformitate cu datele furnizate de American Society for Testing and Materials (ASTM), spectrul radiației solare este prezentat în figura alăturată.  
(<http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5>)

Modelul matematic, utilizat pentru obținerea curbelor din figură, sunt prezentate în (Gueymard C.A. ș.a., 2002)



Spectrul radiației solare (conform American Society for Testing and Materials (ASTM))  
<http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>

Semnificația curbelor, indicată și prin notațiile indicate în legendă sunt următoarele:

- **ETR** – Radiația extraterestră (spectrul solar la limita superioară a atmosferei), la distanța medie Pământ – Soare (*Extraterrestrial Radiation - solar spectrum at top of atmosphere - at mean Earth-Sun distance*). Curba de culoare neagră.
- **Global Tilt** – Radiația spectrală globală (totală) la nivelul solului, pe o suprafața orientată spre sud și înclinată cu 37° față de orizontală, provenită direct de la discul solar, plus radiația difuză, plus radiația reflectată de sol (*spectral radiation from solar disk plus sky diffuse and diffuse reflected from ground on south facing surface tilted 37 deg from horizontal*). Curba de culoare albastră.
- **Direct + circumsolar** – Radiația directă, pe o direcție perpendiculară la suprafața solului, orientată spre centrul Soarelui, excluzând radiația difuză și radiația reflectată de sol, la care se adaugă radiația circumsolară - emisă de soare, în afara celei emise de discul solar (*Direct = Direct Normal Irradiance Nearly parallel (0.5 deg divergent cone) radiation on surface with surface normal tracking (pointing to) the sun, excluding scattered sky and reflected ground radiation*); (*Circumsolar = Spectral irradiance within +/- 2.5 degree (5 degree diameter) field of view centered on the 0.5 deg diameter solar disk, but excluding the radiation from the disk*). Curba de culoare roșie.



Puterea emisivă spectrală ( $E_\lambda$  [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$ ] sau [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ ]) (intensitatea radiației emise pe fiecare lungime de undă), de către un corp negru absolut, poate fi calculată cu relația (Incropera ș.a. 2006):

$$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T} - 1\right)} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$$

unde:

$C_1$  este prima constantă a radiației

$$C_1 = 2\pi^5 h c^2 = 3.742 \cdot 10^8 \text{ (W} \cdot \mu\text{m}^4)/\text{m}^2$$

$C_2$  este a doua constantă a radiației

$$C_2 = \frac{h \cdot c}{k} = 1.439 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

iar:

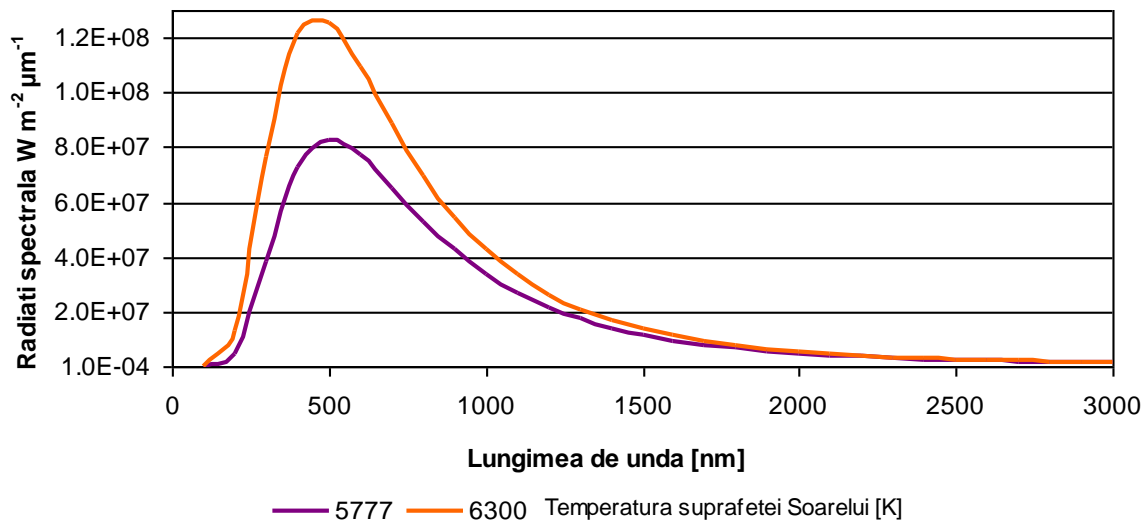
$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  este constanta lui Plank

$k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  este constanta lui Boltzmann

$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  este viteza luminii în vid

Această relație a fost determinată pentru prima dată de Max Plank (Plank, 1959).

Variația puteri emise spectrale (intensitatea radiației emise pe fiecare lungime de undă), în funcție de lungimea de undă și de temperatura suprafeței corpului negru, pentru cele două valori ale temperaturii suprafeței Soarelui considerate în (Duffie, Beckman, 1980) este prezentată în figura alăturată.

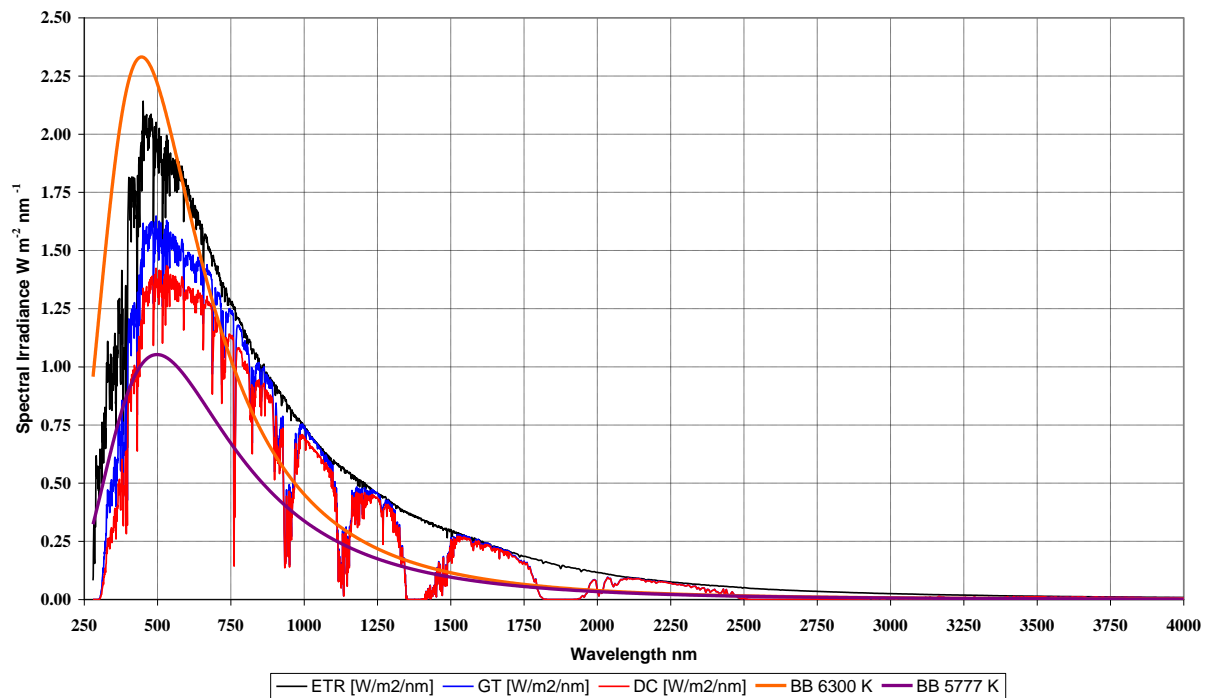


Variația puteri emise spectrale, în funcție de lungimea de undă și de temperatura suprafeței corpului negru

Au fost considerate cele două valori ale temperaturii suprafeței Soarelui, deoarece acestea au semnificații relevante (Duffie, Beckman, 1980):

- 5777 K = 5504°C este temperatura suprafeței corpului negru absolut care emite aceeași cantitate de energie ca și Soarele;
- 6300 K = 6027°C este temperatura suprafeței corpului negru absolut care emite un spectru de radiație având aceeași lungime de undă corespunzătoare intensității maxime a radiației, ca și radiația solară.

Peste curbele reprezentând spectrul radiației solare, prezentate anterior, se pot suprapune curbele de variație a puterii emise spectrale (intensitatea radiației emise pe fiecare lungime de undă) și se obține figura alăturată.



Spectrul radiației solare (conform American Society for Testing and Materials (ASTM))

<http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5>

și curbele de variație a puterii emise spectrale, pentru corpul negru absolut, în funcție de temperatura acestuia

Însumând valorile intensităților radiației spectrale emise pe fiecare lungime de undă, pentru radiația extraterestră și pentru corpul negru absolut, se obțin valorile intensității radiației solare totale (emise pe toate lungimile de undă) prezentate în tabelul alăturat, împreună cu valorile lungimilor de undă corespunzătoare intensității maxime a radiației emise.

Parametrii caracteristici ai radiației solare

Denumire	Intensitatea radiației solare [W/m <sup>2</sup> ]	Lungimea de undă corespunzătoare intensității maxime a radiației emise [nm]
“ETR”	1356.2	451
“BB 6300 K”	1351.0	446
“BB 5777 K”	711.93	496

Din tabelul prezentat, se observă că radiația emisă de corpul negru cu temperatura de 6300 K = 6027 °C, este cea mai apropiată de radiația solară, atât din punct de vedere al intensității radiației totale emise, cât și din punct de vedere al lungimii de undă corespunzătoare intensității maxime a radiației emise.

În concluzie, din punct de vedere al emisiei spectrale a radiației solare, este mai corect ca valoarea temperaturii Soarelui să fie considerată de 6300 K = 6027 °C.

Literatura științifică de specialitate furnizează diverse informații în ceea ce privește temperatura suprafeței Soarelui. Câteva informații sunt sintetizate și prezentate la următoarea adresă de internet: <http://hypertextbook.com/facts/1997/GlyniseFinney.shtml> și sunt prezentate în tabelul alăturat.

#### Referințe bibliografice cu privire la temperatura suprafeței Soarelui

Referință bibliografică	Textul din referința bibliografică	Temperatura suprafeței Soarelui
Loble-Murray-Rice. <i>Earth Science</i> . Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1986.	“De obicei, temperaturile din fotosferă nu depășesc 6000 °C” “ <i>Temperatures in the photosphere usually do not exceed 6,000 °C</i> ”	6000 °C 6273 K
<i>World Book Encyclopedia</i> Vol. 18. New York: World Book, 1996.	“Suprafața Soarelui are o grosime de cca. 340 mile, iar temperatura acesteia este de cca. 5500 °C” “ <i>The sun's surface or photosphere is about 340 miles thick and its temperature about 5,500 °C</i> ”	5500 °C 5773 K
Davis, Dan & Anny Levasseur-Regourd. <i>Our Sun</i> . New York: BLA, 1989.	“Suprafața Solară nu este solidă, ca cea a Pământului, temperatura mai ridicată a acesteia, de 5700 °C...” “ <i>The Solar surface is not solid like the earth's, but its high temperature 5,700 °C ...</i> ”	5700 °C 5973 K
<i>Principles Of Science</i> . Columbus, OH: Merrill, 1979.	“... temperatura soarelui este de cca. 6000 °C” “... <i>temperature of the sun is about 6,000 °C</i> ”	6000 °C 6273 K
Dichristina, Mariett. "Our Violent Star." <i>Popular Science</i> . 249, 3 (September 1996): 17.	“... în timp ce suprafața soarelui (fotosfera) este de 5600 °C” “... <i>while the sun's surface (photosphere) is 5,600 °C</i> ”	5600 °C 5973 K

## Compoziția spectrală a radiației solare

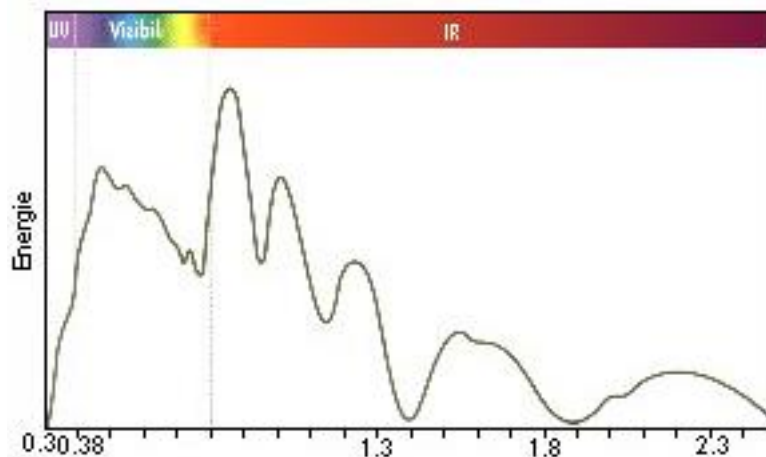
Principalele componente ale radiației solare care ajunge pe Pamânt și participația fiecărei componente în radiația globală, din punct de vedere energetic, sunt:

- radiație ultravioletă 3%
- radiație vizibilă 42%
- radiație infraroșie 55%

Fiecărei componente a radiației, îi corespunde câte un domeniu bine definit al lungimilor de undă:

- radiație ultravioletă 0,28 - 0,38  $\mu\text{m}$  (microni);
- radiație vizibilă 0,38 - 0,78  $\mu\text{m}$  (microni);
- radiația infraroșie 0,78 - 2,50  $\mu\text{m}$  (microni).

Contribuția energetică a radiației solare globale, în funcție de lungimea de undă, între 0,3 și 2,5  $\mu\text{m}$  (microni), pentru o suprafață perpendiculară pe acea radiație, este reprezentată calitativ în figura alăturată.

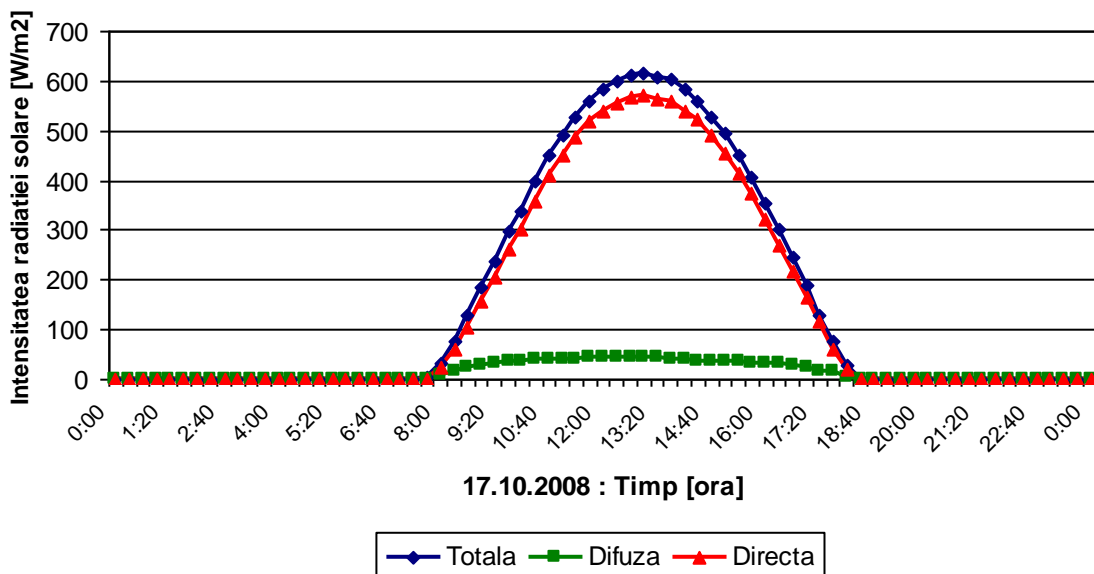


Distribuția energiei radiației solare, în funcție de lungimea de undă (microni)  
<http://www.stgobain.ro>

Se observă că o mare cantitate de energie termică se regăsește în domeniul radiației infraroșii și nu în domeniul radiației vizibile, ceea ce sugerează ideea că această radiație poate fi captată eficient, chiar și în condițiile în care cerul nu este perfect senin. Pentru realizarea acestui obiectiv, au fost realizate panourile solare cu tuburi vidate și cele cu tuburi termice, care pot capta eficient radiația solară, chiar și la temperaturi sub 0°C.

Colectorii solari plani, mai simpli din punct de vedere constructiv și deci mai ieftini, sunt mai puțin performanți, din punct de vedere al capacității de a capta radiația difuză, decât colectorii solari cu tuburi vidate, respectiv cu tuburi termice.

În figura alăturată sunt prezente variația intensității radiației totale, respectiv a componentelor directă și difuză, măsurate la Cluj-Napoca, în data de 17 octombrie 2008, în condiții de cer senin.



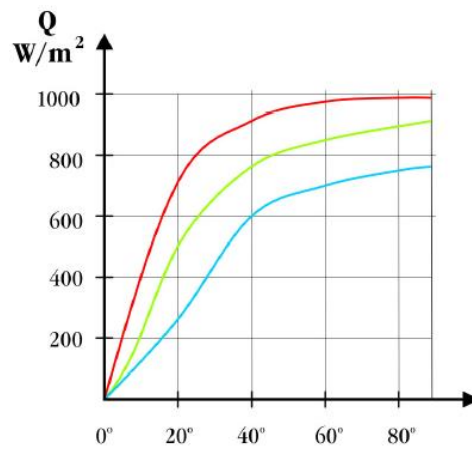
Pe lângă cele două fenomene de difuzie și absorbție, o parte a radiației solare este *reflectată* de atmosferă sau de unele componente ale acesteia (molecule de aer sau anumite tipuri de nori). În urma reflexiei, o altă parte a radiației solare este disipată prin mecanismul difuziei Rayleigh.

Datorită mecanismelor de difuzie, absorbție și reflexie prezentate, în condiții de cer senin și fără poluare, în zonele din Europa de vest, centrală și de est, de regulă valoarea radiației solare măsurate în plan orizontal nu depășește  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Intensitatea radiației solare este influențată de următorii parametrii importanți:

- poziția Soarelui pe cer (unghiul dintre razele solare și planul orizontal);
- unghiul de înclinare a axei Pământului;
- modificarea distanței dintre Pământ și Soare.

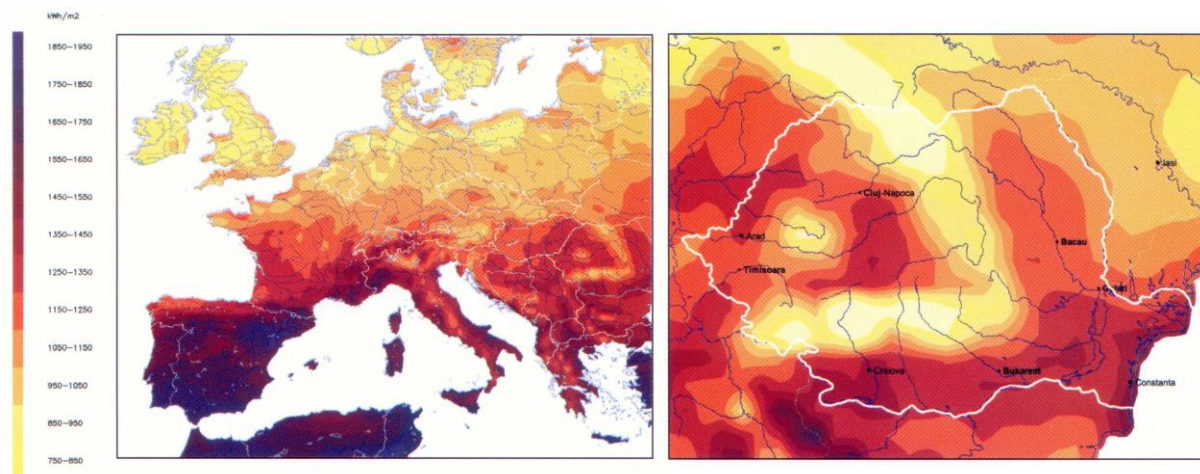
În figura alăturată este reprezentată variația intensității radiației solare în funcție de poziția Soarelui, adică unghiul format de direcția razelor solare cu planul orizontal, pentru diferite situații atmosferice.



- Curba de variație în cazul unui cer senin
- Curba de variație în cazul unui cer mediu acoperit
- Curba de variație în cazul cerului dintr-o zonă poluată

Variația intensității radiației solare în funcție de direcția razelor solare, pentru diferite situații atmosferice  
Rev. Tehnica Instalațiilor nr. 5/2004

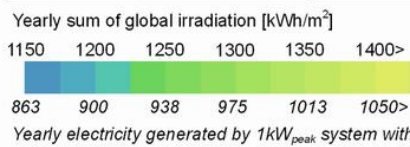
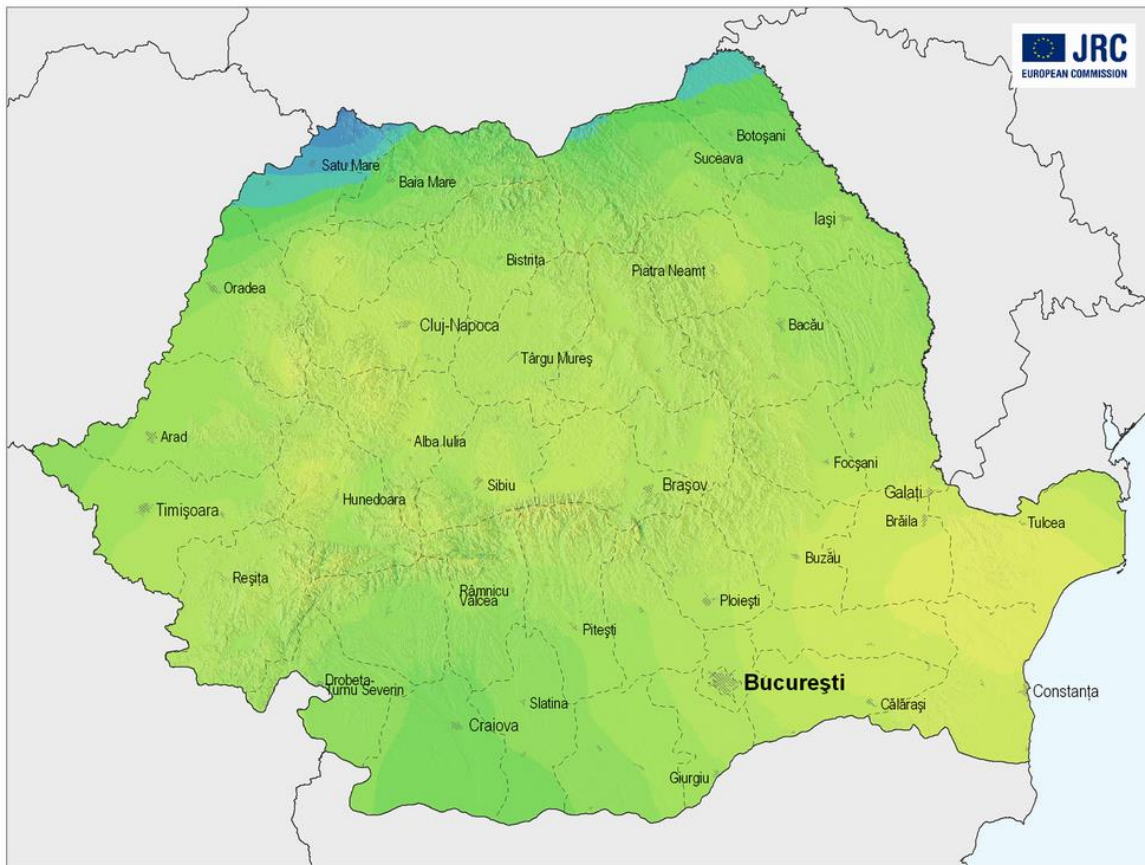
Potențialul de utilizare a energiei solare în România, este relativ important, așa cum se observă în figurile alăturate, care reprezintă hărți ale radiației solare globale. Există zone în care cantitatea de energie solară depășește  $1400 \text{ kWh}/m^2/\text{an}$ , în zona Litoralului Mării Negre și Dobrogea ca și în unele zone sudice. În majoritatea regiunilor țării, cantitatea de energie solară, depășește  $1250 \dots 1350 \text{ kWh}/m^2/\text{an}$ .



Harta intensității radiației solare în Europa și România

**Global irradiation and solar electricity potential  
Horizontally mounted photovoltaic modules**

**Romania**



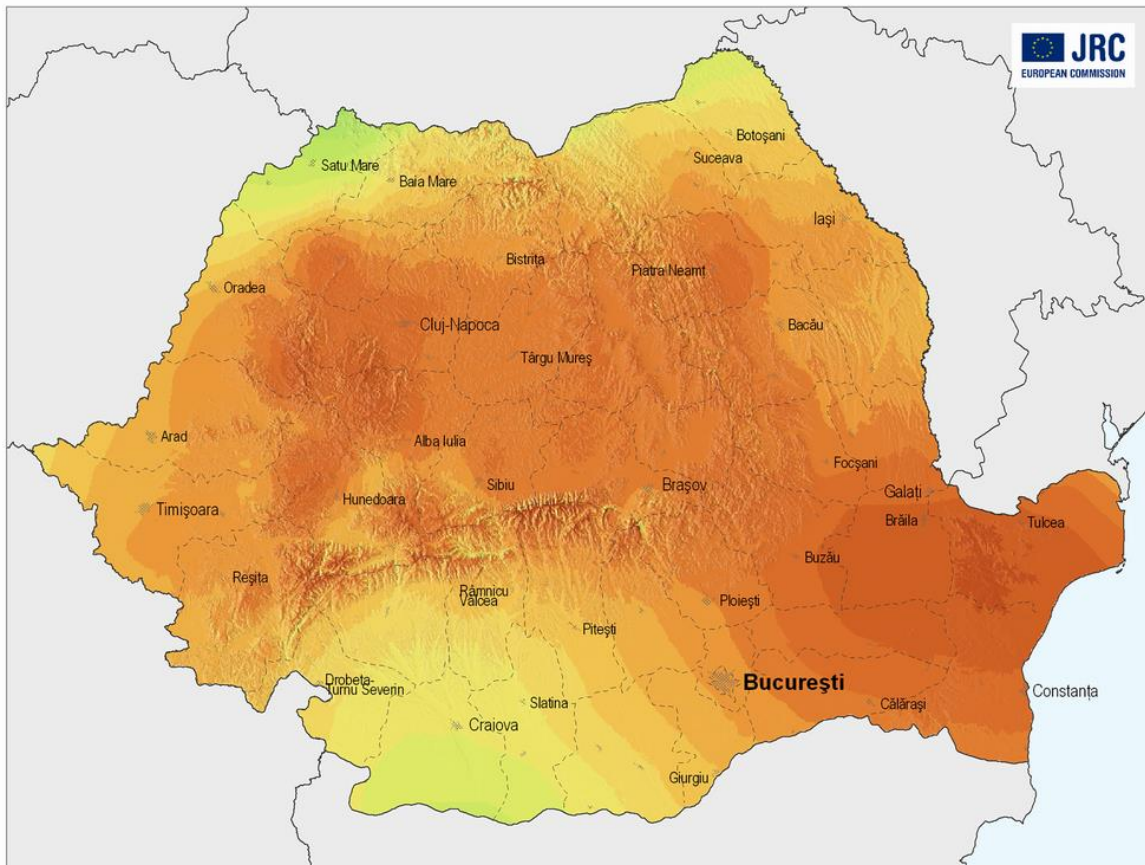
Authors: M. Šúri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop  
 PVGIS © European Communities, 2001-2008  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



Energia radiației solare globale anuale și potențialul fotovoltaic anual, în plan orizontal  
 Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

**Global irradiation and solar electricity potential  
Optimally-inclined photovoltaic modules**

**Romania**



Yearly sum of global irradiation [kWh/m<sup>2</sup>]  
<1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650

<1013 1050 1088 1125 1163 1200 1238

Yearly electricity generated by 1kW<sub>peak</sub> system with performance ratio 0.75 [kWh/kW<sub>peak</sub>]

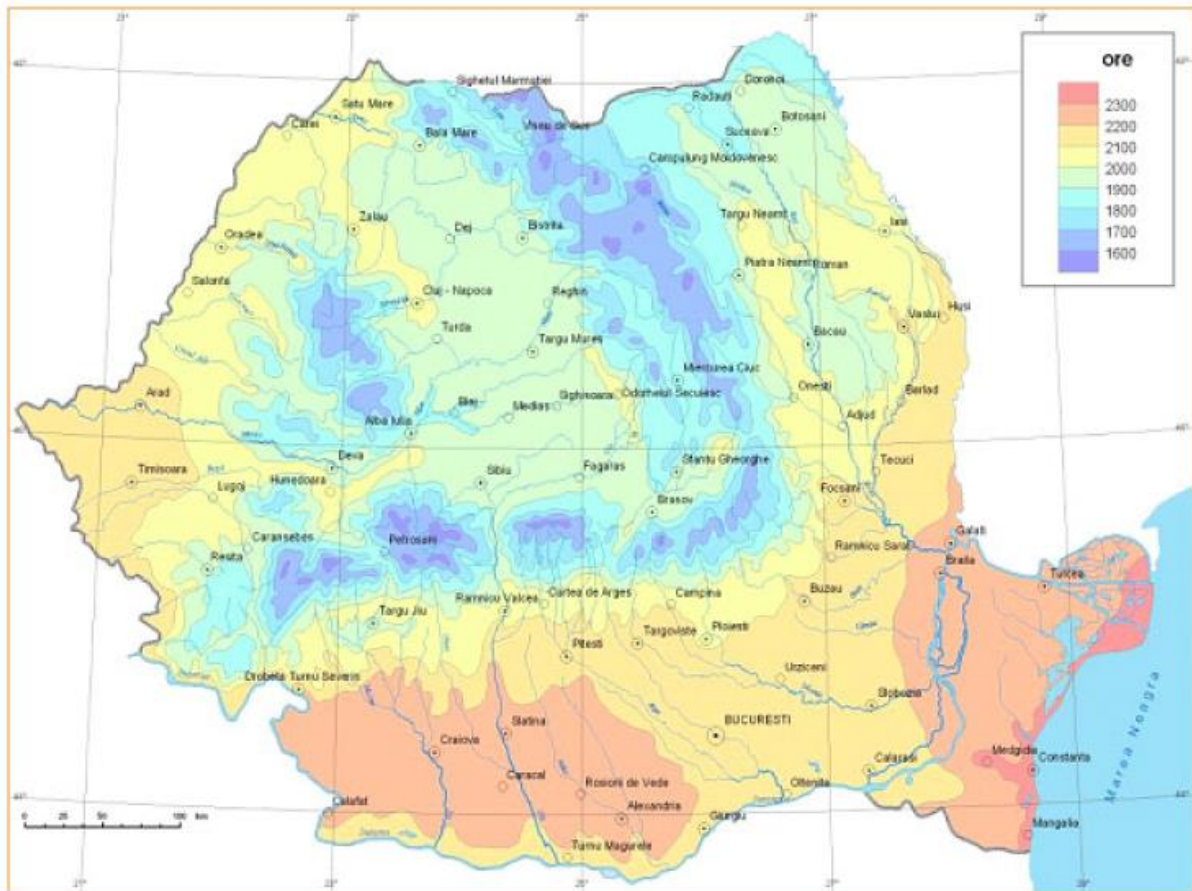
Authors: M. Šúri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop  
PVGIS © European Communities, 2001-2008  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

0 50 100 km

Energia radiației solare globale anuală și potențialul fotovoltaic anual, în planul înclinat optim  
Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>



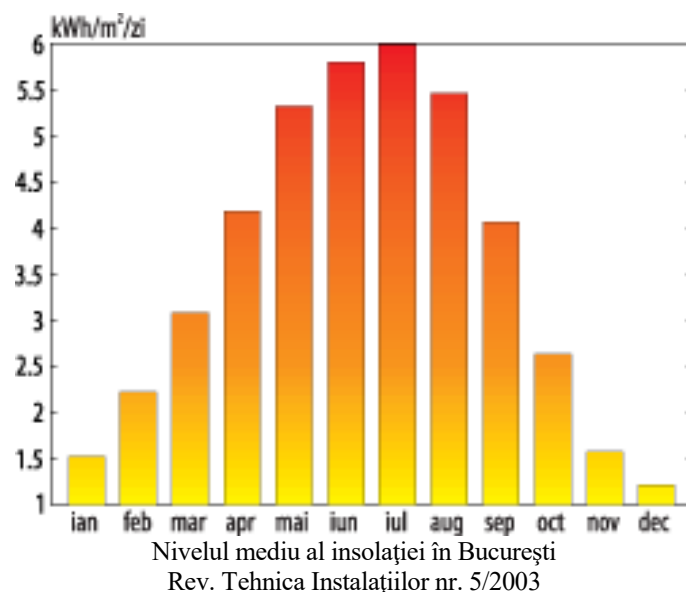
În figura alăturată este prezentată distribuția la nivelul României a duratei medii anuale de strălucire a soarelui pe cer.



Durata medie anuală de strălucire a soarelui (1961-2000)

Sursa INMH: <http://www.energie-solara.com.ro>

Gradul mediu de însorire, diferă de la o lună la alta și chiar de la o zi la alta, în aceeași localitate și cu atât mai mult de la o localitate la alta. În figura alăturată, este prezentat nivelul mediu al insolației, reprezentând cantitatea de energie solară care pătrunde în atmosferă și cade pe suprafața pământului, în localitatea București.



Evident, radiația solară este distribuită neuniform pe suprafața Pământului, poziția geografică și condițiile climatice locale, având o influență deosebită pentru impactul radiației solare asupra suprafeței terestre. Câteva dintre datele statistice referitoare la radiația solară, disponibile pentru România, sunt prezentate în tabelele 1...3.

**Tab. 1.** Densitatea puterii radiante solare globale medii [W/m<sup>2</sup>], pe o suprafață orizontală, în București

Ora	Felul cerului	Lunile anului											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6	S	-	-	23	72	142	184	142	69	20	-	-	-
	A	-	-	15	34	84	105	75	36	14	-	-	-
9	S	130	258	384	560	655	680	655	541	365	190	116	89
	A	65	123	191	280	378	337	380	291	182	93	65	25
12	S	280	420	639	799	881	905	681	775	611	416	296	140
	A	145	215	318	405	535	462	528	503	377	243	162	68
15	S	132	260	384	560	655	680	655	541	365	190	115	85
	A	68	130	183	296	330	342	335	295	188	101	63	24
18	S	-	-	23	72	142	184	142	69	20	-	-	-
	A	-	-	6	32	70	89	68	32	10	-	-	-

A – cer acoperit, S – cer senin

**Tab. 2.** Durata medie orară de strălucire a soarelui, la ora 12 (11:30 – 12:30)

Localitatea	Durata medie orară la ora 12, în luna:											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
București - Basarabi	0,39	0,39	0,49	0,61	0,62	0,71	0,79	0,82	0,77	0,68	0,46	0,36
Constanța	0,39	0,37	0,48	0,58	0,67	0,78	0,82	0,85	0,80	0,68	0,46	0,35
Cluj - Cetățuie	0,42	0,47	0,58	0,51	0,61	0,5	0,61	0,63	0,71	0,6	0,32	0,31
Iași	0,37	0,36	0,47	0,56	0,64	0,72	0,75	0,79	0,71	0,59	0,33	0,32
Timișoara	0,36	0,4	0,57	0,57	0,66	0,68	0,75	0,77	0,71	0,65	0,39	0,37

**Tab. 3.** Sumele medii orare ale duratei de strălucire a Soarelui

Localitatea	Sumele medii lunare ( h/lună ), în luna:											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
București - Basarabi	76,6	79,8	125	183	252,2	296,6	317,8	293,4	227,3	178,1	98,7	67,5
Constanța	78,6	80,7	131,2	182,4	254,6	307,3	330,1	310,2	243,1	182,7	106	70,9
Cluj - Cetățuie	83,7	104,2	168,9	169,2	219,7	238,8	236,1	222,6	201,1	162,1	65,8	62
Iași	71,1	73,3	127,2	173,9	229,0	259,1	272,2	264,8	205,0	154,3	71,4	55,0
Timișoara	75,5	88,6	156,9	184,8	240,3	263,6	297,3	276,4	216	175,3	83,9	53,6

### Referințe bibliografice

- Chaisson E, McMillan S, *Astronomy Today*, Benjamin-Cummings Publishing Company, 2010
- Duffie J., Beckman W.A., *Solar engineering of thermal processes*, Second edition, John Wiley & Sons, Singapore, 1980
- Gueymard, C.A., Myers, D., Emery, K., *Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing*, Solar Energy 73(6), pp. 443–467, 2002
- Incropera, F.,P., Dewitt, D.,P., Bergman T.,L., Lavine A.,S., “Fundamentals of heat and mass transfer”, 6th edition, John Wiley & Sons, USA, 2006
- Plank, M., *The theory of heat radiation*, Dover Publications, New York, 1959
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Sun>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Earth\\_physical\\_characteristics\\_tables](http://en.wikipedia.org/wiki/Earth_physical_characteristics_tables)
- <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5>
- <http://hypertextbook.com/facts/1997/GlyniseFinney.shtml>