

# 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 aflată la o distanță de cca. 150 milioane km de Pământ. 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. 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. 78.5% hidrogen, 19.7% heliu, 0.86% oxigen și alte elemente în concentrații mai reduse. Viteza de conversie a hidrogenului în heliu este de cca. 4.26 milioane tone pe secundă. 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:

$$c - \text{viteza luminii: } c = 300000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

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:

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

unde:

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

Înlocuind se obține:

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

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:

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

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

Temperatura miezului Soarelui, care reprezintă cca. 3% din volumul acestuia, este de cca. 15 milioane  $^\circ\text{C}$ , iar temperatura suprafeței Soarelui este de cca.  $5500^\circ\text{C}$  așa cum s-a arătat și cum indică majoritatea surselor bibliografice.

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.

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

unde:

$P$  – Puterea termică a radiației emise de Soare:  $P = 38.34 \cdot 10^{25} \text{ W}$

$I_S$  – Intensitatea radiației disponibile pe unitatea de suprafață a unei sfere având Soarele în centru

$S_S$  – 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:

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

Înlocuind în relația anterioară, se obține:

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

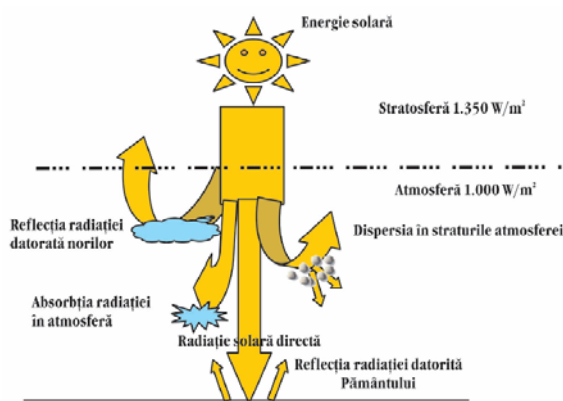
Astfel, intensitatea radiației solare disponibilă la limita superioară a atmosferei terestre, se poate calcula cu ajutorul relației anterioare, considerând că  $D$  este distanța dintre Pământ și Soare  $D = 149597871 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .

$$I_S = \frac{38.34 \cdot 10^{25}}{4 \cdot \pi \cdot 1.496^2 \cdot 10^{11 \cdot 2}} = 1.364 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

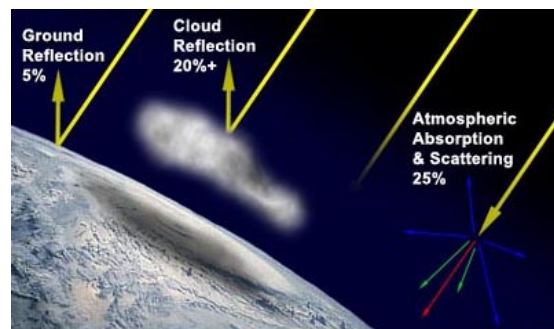
Valoarea calculată a intensității radiației solare care ajunge la periferia atmosferei terestre, corespunde cu valoarea indicată de numeroase surse bibliografice de aproximativ  $1366 \text{ W/m}^2$ , valoare denumită *constanta solară* și care suferă mici variații de cca. 6.9%, datorate în principal fluctuațiilor distanței dintre Pământ și Soare. Puterea totală a radiației solare raportate la întregul Pământ, având o secțiune de cca.  $127.400.000 \text{ km}^2$ , este de cca.  $1.740 \times 10^{17} \text{ W}$ ,  $\pm 3.5\%$ .

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.

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



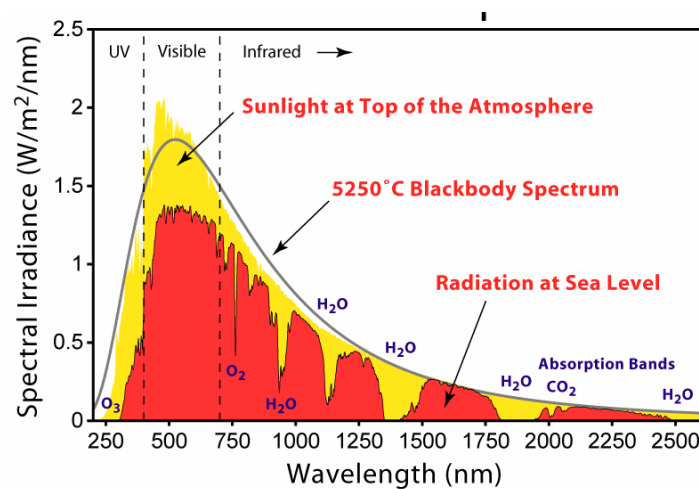
Schema interacțiunilor dintre energia solară și atmosfera, respectiv suprafața terestră  
Rev. Tehnica Instalațiilor nr. 5/2003



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



Spectrul radiației solare.

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

În timp ce traversează atmosfera, radiația solară este parțial absorbită de anumite gaze componente ale acesteia, în special pe anumite lungimi de undă.

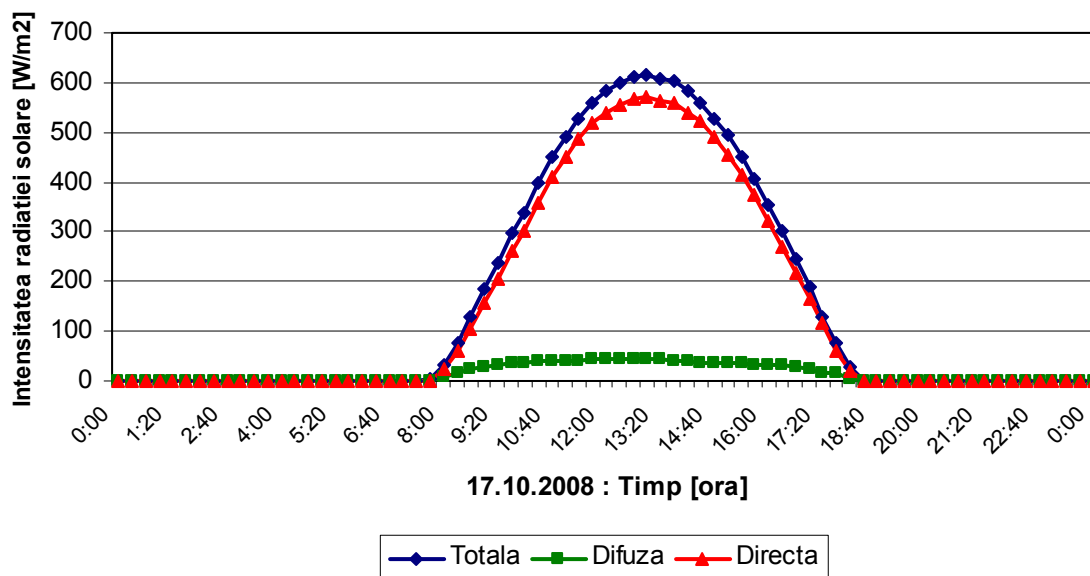
**Observație:** Difuzia este fenomenul fizic în urma căruia, anumite forme de radiație, cum sunt lumina, sunetul sau particule în mișcare, sunt determinate să devieze de la traiectoria rectilinie, de una sau mai multe neuniformități (impurități) localizate în mediul pe care acestea îl traversează. Uzual, 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.

Atmosfera terestră absoarbe aproape complet radiația X și o mare parte din radiația ultraviolet (UV). Unele componente ale atmosferei (vapori de apă, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, 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 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.



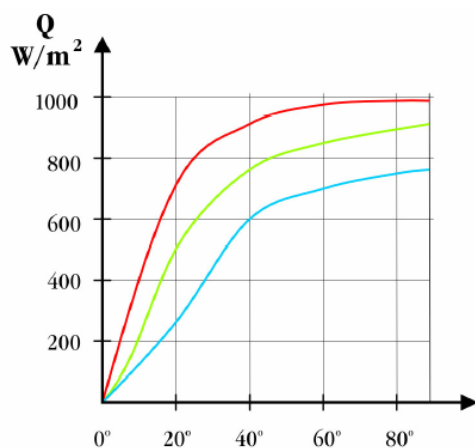
Pe lângă cele două fenomene de difuzie și absorbție, o parte a radiației solare este *reflectată* de atmosferă sau de unele componente ale acesteia (molecule de aer sau anumite tipuri de nori). În urma reflexiei, o altă parte a radiației solare este disipată prin mecanismul difuziei Rayleigh.

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 parametri importanți:

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

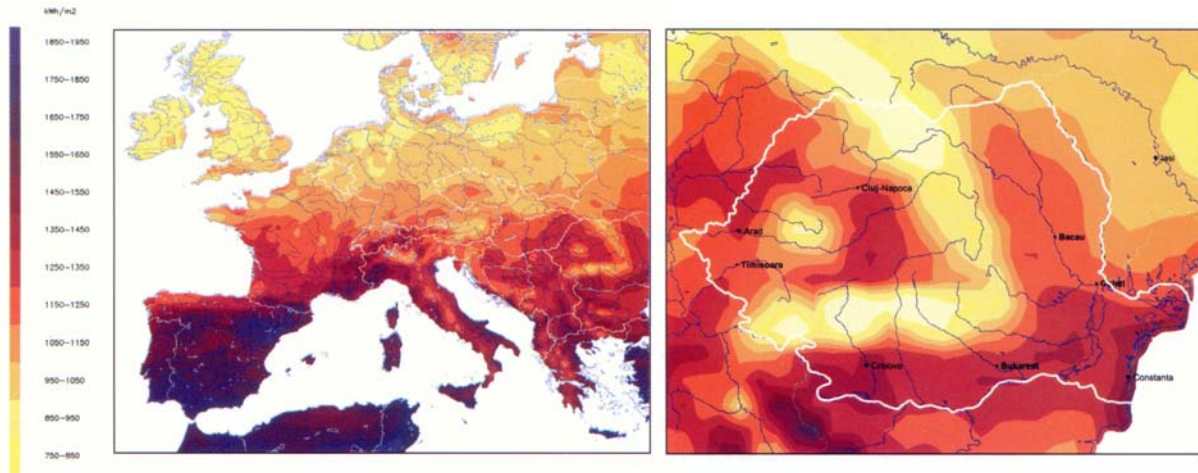
În figura alăturată este reprezentată variația intensității radiației solare în funcție de poziția Soarelui, adică unghiul format de direcția razelor solare cu planul orizontal, pentru diferite situații atmosferice.



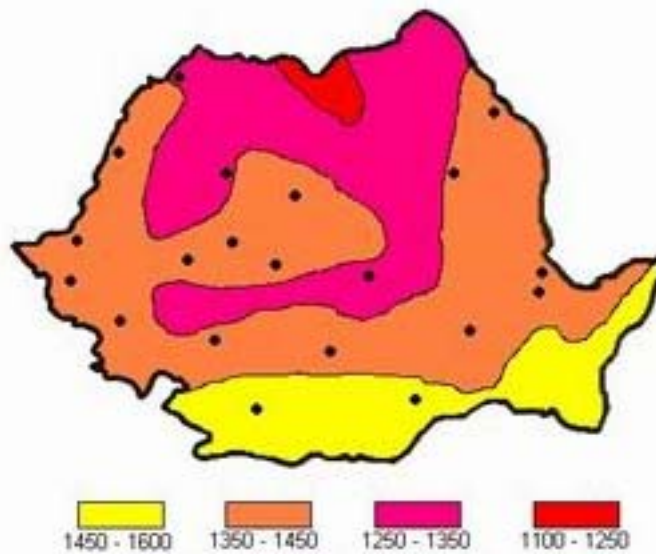
- Curba de variație în cazul unui cer senin
- Curba de variație în cazul unui cer mediu acoperit
- Curba de variație în cazul cerului dintr-o zonă poluată

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 ajunge până la 1450...1600kWh/m<sup>2</sup>/an, în zona Litoralului Mării Negre și Dobrogea ca și în majoritatea zonelor sudice. În majoritatea regiunilor țării, cantitatea de energie solară, depășește 1250...1350kWh/m<sup>2</sup>/an.

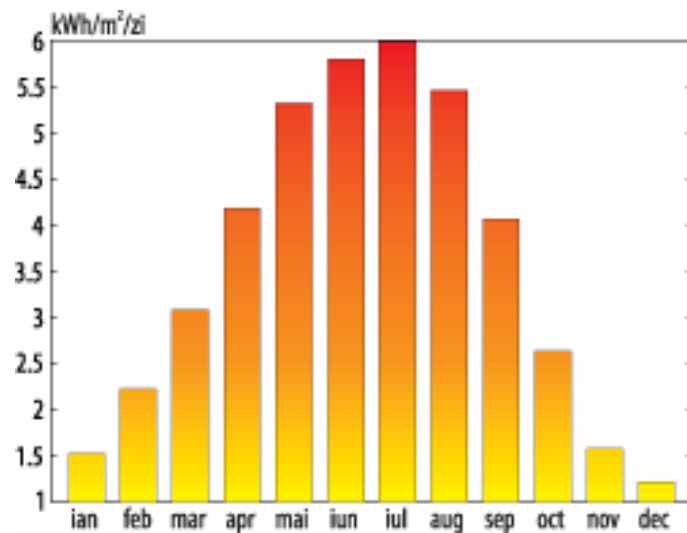


Harta intensității radiației solare în Europa și România



Harta schematică a radiației solare în România  
Rev. Tehnica Instalațiilor nr. 5/2003

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.



Nivelul mediu al insolației în București  
Rev. Tehnica Instalațiilor nr. 5/2003

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 [ $W/m^2$ ], 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