

MONITORIZAREA INTENSITATII RADIATIEI SOLARE

Noțiuni introductive

În contextul actualei crize energetice relativ acute, comunitatea științifică internațională, reconsideră toate abordările referitoare la energiile regenerabile. Între acestea, energia solară prezintă unul dintre cele mai importante potențiale, peste tot în lume, deoarece pentru o perioadă de timp foarte lungă, Soarele poate fi considerat o uriașă sursă gratuită de energie.

Așa cum s-a arătat anterior, nivelul intensității radiației solare, în afara limitelor atmosferei, este relativ constant, a fost denumit constanta solară și această valoare a fost determinată experimental prin măsurători cu tehnologie specifică sateliților, obținându-se o valoare de cca. $1350 \dots 1366 \text{ W/m}^2$. De la limita atmosferei, până la suprafața terestră, intensitatea radiației solare se reduce datorită câtorva efecte cunoscute (reflexie, disoersie, absorbție, etc.), iar valoarea intensității radiației solare, la nivelul solului, prezintă valori diferite, în funcție de:

- Poziția geografică (latitudine, longitudine, altitudine);
- Condiții meteorologice;
- Prezența sau absența poluării, etc.

Există două tipuri de radiație solară, care se manifestă la nivelul solului și anume *radiația directă* și *radiația difuză*, suma dintre cele două reprezentând *radiația totală*.

În continuare va fi prezentat un sistem original de monitorizare a intensității radiației solare, realizat pentru a măsura și a permite calculul intensității tuturor celor trei tipuri de radiație solară. Acest sistem de monitorizare a fost implementat în localitatea Cluj Napoca, la sediul Facultății de Mecanică.

Senzori

Pentru măsurarea intensității radiației solare totale și difuze, au fost utilizate două piranometre de tip CMP3, ale companiei Kipp & Zonen din Olanda. Unul a fost utilizat pentru determinarea intensității radiației totale, iar celălalt (umbrît în timpul realizării experimentelor), a fost utilizat pentru determinarea intensității radiației solare difuze. În figura 26, este prezentat modelul 3D al unui piranometru, iar în figura 27, schema constructivă a unui piranometru.

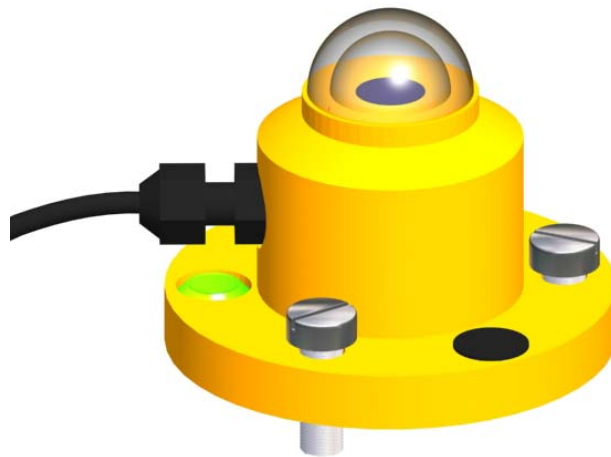


Fig. 26. Model 3D al unui piranometru

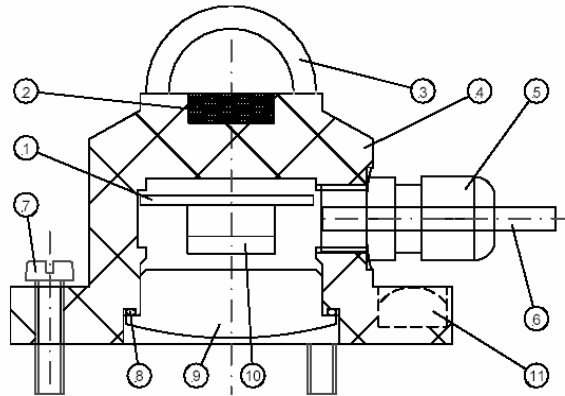


Fig. 27. Schema constructivă a unui piranometru
 1 – circuit electronic imprimat; 2 – senzor de radiație solară; 3 – dom de sticlă;
 4 – corp; 5 – conector electric; 6 – cablu electric; 7 – șurub pentru reglarea
 nivelului orizontal; 8 – elemente de fizare;
 9 – capac pt acces la conexiunile electrice; 10 – conector electric filetat;
 11 – poloboc.

În tabelul alăturat sunt prezentate câteva caracteristici ale piranometrelor utilizate.

Caracteristici ale piranometrelor

Caracteristica	Valoare
Timp de răspuns (95%)	18s
Rată anuală de modificare a stabilității	±1%
Neliniaritate (0...1000W/m ²)	±2.5%
Eroare direcțională (la 80° și 1000W/m ²)	±20W/m ²
Dependența sensibilității de temperatură	±5% (-10...+40°C)
Eroare maximă la 1000W/m ²	±2%
Sensibilitate	5...15μV/W/m ²
Domeniul temperaturilor de lucru	-40...+80°C
Domeniul spectral	310...2800nm
Intensitatea maximă a radiației solare	2000W/m ²
Acuratețe zilnică estimată	±10%

În figura 28, este prezentată schema sistemului original de achiziție a datelor și de monitorizare a intensității radiației solare, utilizat la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca.

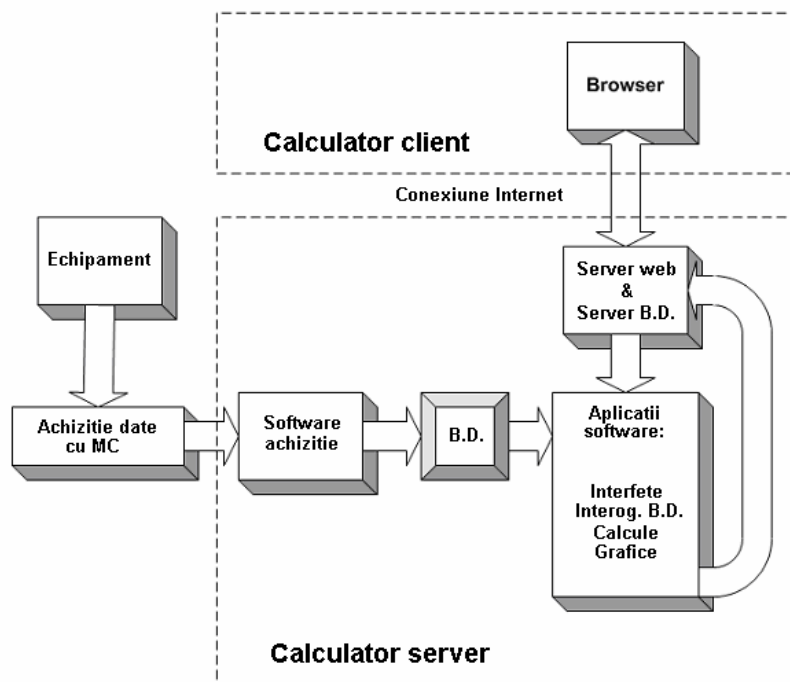


Fig. 28. Schema de funcționare a sistemului de achiziție a datelor și monitorizare

Echipamentul indicat pe schemă, este reprezentat de două piranometre, conectate la sistemul original de achiziție a datelor și de monitorizare.

Valorile intensităților radiației solare totale și difuze, sunt citite de un microcontroler, prin intermediul modului electronic original de conversie indicat pe figura 29 prin CONV. Componentele software ale modului sunt de asemenea originale.



Fig. 29. Schema de principiu a sistemului de achiziție a datelor, cu microcontroler

Cele două tensiuni electrice, proporționale cu valorile intensităților radiației solare, reprezentând mărimile de ieșire ale celor două piranometre, sunt convertite în valorile efective ale intensităților radiației solare totale, respectiv difuze, în modulul electronic de conversie și apoi sunt înregistrate în memoria microcontrolerului. Este realizată de asemenea transmiterea valorilor înregistrate, la un calculator compatibil IBM-PC, cu sistem de operare Linux, prin interfața serială COM. Intensitatea radiației solare totale, a fost notată cu I_0 , iar intensitatea radiației solare difuze, cu I_1 .

Prezența calculatorului, utilizat ca server, este obligatorie, deoarece s-a urmărit monitorizarea de la distanță prin internet.

Aplicația de monitorizare prin internet a intensității radiației solare, cuprinde mai multe programe de calcul.

Funcțiile realizate de programele componente ale aplicației de monitorizare sunt:

- *Stocarea* într-o bază de date a valorilor intensităților radiației solare, citite de piranometru și de microcontroler;
- *Citirea* intensităților radiației solare din baza de date;

- Afișarea mărimilor citite din baza de date, pe un panou virtual de monitorizare, realizat sub forma unei pagini web;
- *Reprezentarea grafică* a variației mărimilor monitorizate.

Baza de date, notată pe figura 28 cu BD, concepută în vederea stocării valorilor parametrilor măsurati, este de tip MySQL, și permite interogarea prin internet. Structura tabelului utilizat pentru stocarea datelor în baza de date, este prezentată în figura 30.

	Field	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Extra
<input type="checkbox"/>	<u>id</u>	int(11)			No		auto_increment
<input type="checkbox"/>	data	datetime			Yes	NULL	
<input type="checkbox"/>	pyr0	int(11)			Yes	NULL	
<input type="checkbox"/>	pyr1	int(11)			Yes	NULL	

Fig. 30. Structure tabelului din baza de date MySQL

Se observă că fiecare înregistrare în baza de date primește un cod unic, denumit id, iar informațiile stocate sunt: data și ora la care s-a efectuat măsurarea, în câmpul denumit data, respectiv cele două valori ale intensităților radiației solare directe și difuze, indicate de cele două piranometre, în câmpurile denumite pyr0 și pyr1.

Stocarea în baza de date a valorilor parametrilor citiți de microcontrolerul MC, este realizată cu ajutorul unui program original de calcul, scris în limbaj JAVA și denumit Software achizitie, pe figura 28. Schema logică de principiu a programului Prg. Achizitie, este prezentată în figura 31.

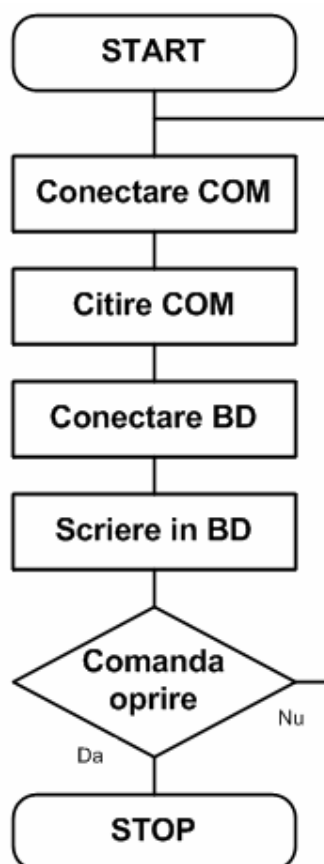


Fig. 31. Schema de principiu a programului de citire a parametrilor transmiși de microcontroler și de stocare a acestora în baza de date

Programul de achiziție a datelor funcționează în continuu, citind și stocând valorile parametrilor în baza de date, la intervale de 1 minut, până la eventuala oprire a acestei componente software de către operator.

Citirea parametrilor din baza de date și afișarea acestora pe panoul virtual de monitorizare, este realizată de programele denumite Interog B.D., pe schema din figura 28. Aceste programe au structura logică prezentată în figura 32. Programele au fost scrise în limbajul de programare PHP.



Fig. 21. Schema de principiu a programului de citire a parametrilor din baza de date și afișare a acestora pe panoul virtual de monitorizare

Valorile parametrilor, indicați pe pagina web pot fi actualizate la orice interval de timp dorit de utilizator, prin reîncărcarea automată a fișierului în browser. Actualizarea este posibilă deoarece microcontrolerul citește în continuu valorile parametrilor indicați de senzorii radiației solare globale și difuze. Tot în continuu, valorile parametrilor citați de microcontroler, sunt transmise interfeței seriale a calculatorului, iar programul de achiziție a datelor, citește la intervale de 1 minut (60 secunde), valorile transmise de microcontroler și scrie în baza de date, noile valori citite.

În plus, față de selecția și afișarea valorilor din baza de date, programele menționate, realizează și calculul următorilor parametri:

- Valoarea intensității radiației solare directe, ca diferență dintre intensitățile radiației totale și difuze;
- Valorile medii ale intensităților radiației solare (totală, difuză și directă), pentru tot intervalul selectat;
- Valorile medii ale intensităților radiației solare (totală, difuză și directă), pentru perioadele de zi (în care Soarele este pe cer), din intervalul selectat;
- Valorile totale ale căldurilor (totală, difuză și directă) radiante furnizate de Soare.

Afișarea parametrilor citați din baza de date, a fost realizată pe un panoul virtual de monitorizare, realizat în limba engleză, conceput sub forma unei pagini web și reprezentat în figura 22.

Solar radiation monitoring

Location: Cluj Napoca - Romania



Last recorded values:

Time yyyy-mm-dd hh:mm:ss	Total radiation [W/m ²]	Diffuse radiation [W/m ²]	Direct radiation [W/m ²]
2007-11-01 09:21:41	13	6	7

Recorded values (for choused period):

Year Month Day Hour Time step - minutes

From: 2007 8 1 0 1 list recorded values

To: 2007 8 1 0

Recorded values (for choused hour):

Year Month Day Hour Time step - minutes

2007 8 1 0-1 1 list recorded values

Recorded values (for choused day):

Year Month Day Time step - minutes

2007 8 1 1 list recorded values

Recorded values (for choused month):

Year Month Time step - minutes

2007 8 1 list recorded values

Recorded values (for choused year):

Year Time step - minutes

2007 1 list recorded values

Fig. 22. Panoul virtual de monitorizare, realizat sub forma unei pagini web

Panoul virtual de monitorizare prezentat în figura 20, poate fi afișat pe orice calculator conectat la internet, indicând adresa paginii web și anume:

<http://l.academicdirect.ro/Engineering/environment/solar/index.php>

Interfața prezentată, afișează ultimele valori ale intensității radiației solare totale, respectiv difuze și oferă următoarele opțiuni de selectare din baza de date:

- Selecție pentru o perioadă de timp oarecare, indicată prin anul, luna, ziua și ora de început, respectiv de sfârșit a perioadei alese;
- Selecție pentru o perioadă de o oră, indicată prin anul, luna, ziua și intervalul orar dorit;
- Selecție pentru o perioadă de o zi, indicată prin anul, luna și ziua dorite;
- Selecție pentru o perioadă de o lună, indicată prin anul și luna dorite;
- Selecție pentru o perioadă de un an, indicat prin anul dorit.

Pentru toate opțiunile, poate fi ales și intervalul de timp, exprimat în minute, pentru care se dorește afișarea valorilor stocate în baza de date. Valorile posibile pentru pasul de timp diferă, în funcție de opțiunea selectată de utilizator, între 1, 5, 10, 15, 20, 30, 60min.

În cazul în care pentru intervalul de timp selectat lipsesc înregistrările din baza de date, situație posibilă datorită unui număr extrem de redus de întreruperi ale sistemului de monitorizare, datorate unor pene de curent, sunt afișate mesaje de eroare.

Fiecare selecție din baza de date, este activată prin acționarea butoanelor marcate prin “list recorded values”. Fiecare din aceste butoane lansează în execuție câte un program de citire din baza de date.

Rezultate

În continuare, sunt prezentate câteva exemple de rezultate furnizate de programele componente ale sistemului de monitorizare.

În figura 23, sunt prezentate valorile intensităților radiației solare totale, difuze și directe, înregistrate pentru ziua de 17 august, în intervalul orar 14-15 și afișate cu un pas de timp de 10 minute. Ziua considerată a fost complet însorită, practic cerul a fost complet senin toată ziua și se observă că valorile intensității radiației solare totale, pentru intervalul considerat depășesc valoarea de 800W/m^2 .

Solar radiation monitoring

Location: Cluj Napoca - Romania

[home](#)



Recorded values:

Year: 2007 Month: 8 Day: 17 Hour: 14 - 15

Time step: 10 minutes

Time yyyy-mm-dd hh:mm:ss	Total radiation [W/m ²]	Diffuse radiation [W/m ²]	Direct radiation [W/m ²]
2007-08-17 14:00:01	855	60	795
2007-08-17 14:00:51	851	58	793
2007-08-17 14:10:04	853	58	795
2007-08-17 14:10:55	862	56	806
2007-08-17 14:20:08	853	55	798
2007-08-17 14:20:58	855	53	802
2007-08-17 14:30:12	830	52	778
2007-08-17 14:40:16	827	52	775
2007-08-17 14:50:19	827	52	775

Fig. 23. Valorile intensităților radiației solare înregistrate pentru ziua de 17 august, în intervalul orar 14-15, cu un pas de timp de 10min

În figura 24, sunt prezentate valorile medii ale intensităților radiației solare totale, difuze și directe, calculate pe baza înregistrărilor din ziua de 17 august, pentru tot intervalul de 24 ore considerat.

Average values for solar radiation - 24 hours:

Total radiation [W/m ²]	Diffuse radiation [W/m ²]	Direct radiation [W/m ²]
295.28	41.73	253.55

Fig. 24. Valorile medii ale intensităților radiației solare, pentru ziua de 17 august, calculate pentru tot intervalul de 24 ore considerat

În figura 25, sunt prezentate valorile medii ale intensităților radiației solare totale, difuze și directe, calculate pe baza înregistrărilor din ziua de 17 august, pentru perioada de zi, în care Soarele a fost pe cer, din intervalul considerat. Pe de-o parte, se observă că a putut fi calculată durata perioadei din zi în care Soarele a fost pe cer și pe de altă parte se observă că valoarea medie a intensității radiației solare este de 518,22W/m², față de numai 295,28W/m², valoare corespunzătoare întregului interval de 24 considerat. Pentru aplicațiile tehnice, valorile medii calculate pentru perioada de zi, prezintă o importanță mult mai mare decât valorile medii calculate pentru tot intervalul de 24h.

Average values for solar radiation - day time (sun on the sky) - 16.33 hours.:

Total radiation [W/m ²]	Diffuse radiation [W/m ²]	Direct radiation [W/m ²]
518.22	73.24	444.98

Fig. 25. Valorile medii ale intensităților radiației solare, pentru ziua de 17 august, calculate pentru perioada de zi (Soarele pe cer) din intervalul considerat

În figura 26 sunt prezentate valorile calculate pentru căldurile radiante furnizate de Soare, determinate pe baza înregistrărilor din data de 17 august.

Total values for heat:

Total heat [Wh/m ²]	Diffuse heat [Wh/m ²]	Direct heat [Wh/m ²]
8464.67	1196.33	7268.33

Fig. 26. Valorile totale ale căldurilor radiante furnizate de Soare, pentru data de 17 august

În continuare sunt prezentate câteva reprezentări grafice ale intensității radiației solare, realizate pe baza unui program de monitorizare, derulat în perioada august – octombrie 2007.

Figura 2.27, prezintă tendința descrescătoare a intensității radiației solare totale, în perioada august...octombrie 2007.

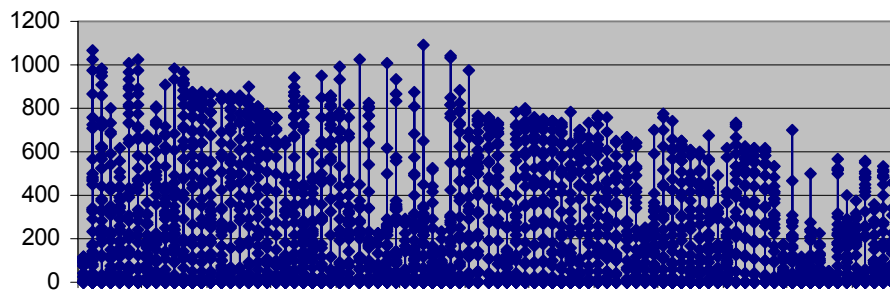


Fig. 27. Variația intensității radiației solare totale în lunile august – septembrie - octombrie

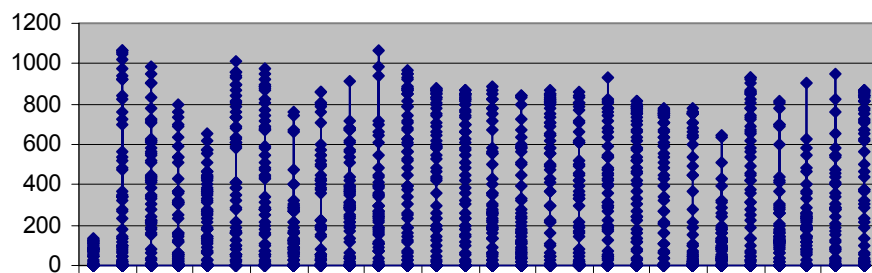


Fig. 28. Variația intensității radiației solare totale în luna august

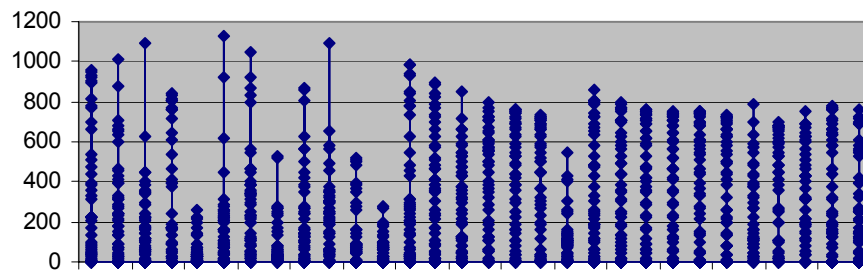


Fig 29. Variația intensității radiației solare totale în luna septembrie

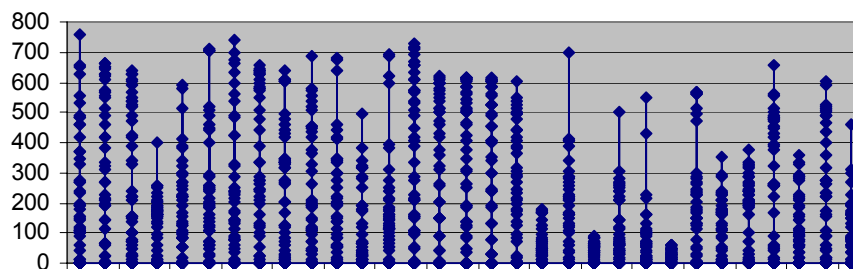


Fig. 30. Variația intensității radiației solare totale în luna octombrie

Figurile 2.28...2.30, detaliază variația intensității radiației solare totale, în fiecare dintre lunile august...octombrie 2007.

Analizând figurile 2.31...2.33, se observă că în ziua de 17, a fiecăreia dintre cele trei luni, cerul a fost senin, iar valoarea maximă a intensității radiației solare totale, a scăzut de la cca. 860W/m^2 în august, la cca. 760 W/m^2 în septembrie și la cca. 610W/m^2 în septembrie.

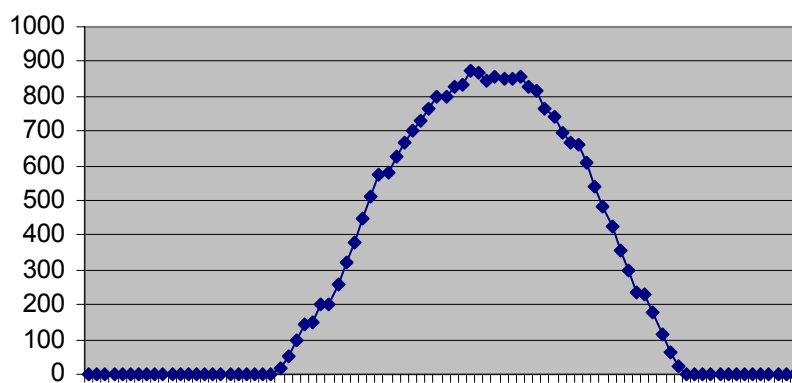


Fig. 31. Variația intensității radiației solare totale în 17 august

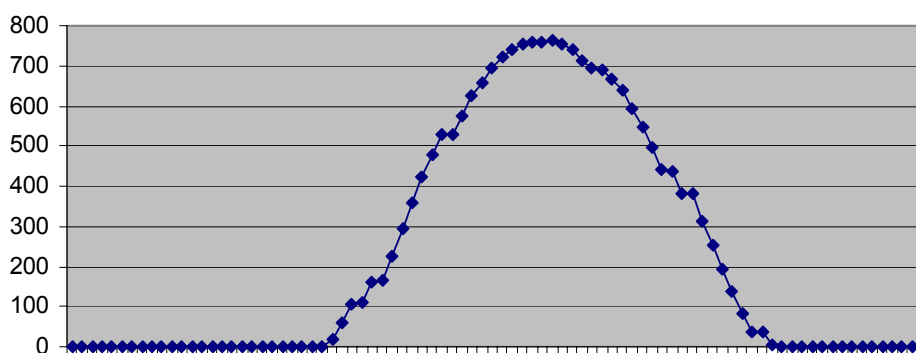


Fig. 32. Variația intensității radiației solare totale în 17 septembrie

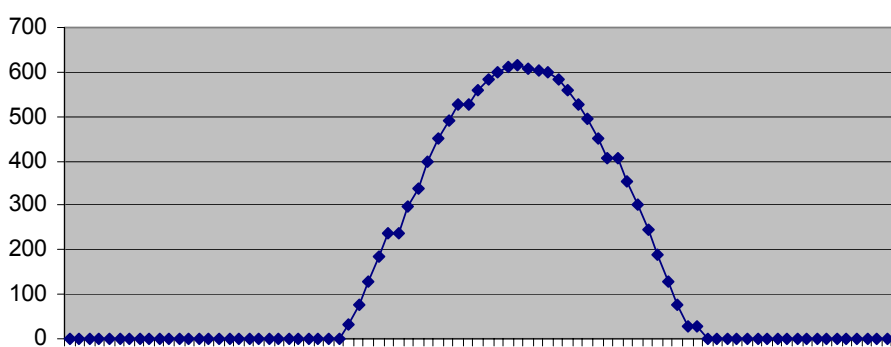


Fig. 33. Variația intensității radiației solare totale în 17 octombrie

În figurile 2.34...2.36, sunt prezentate variațiile intensității radiației solare totale, în câte trei zile consecutive, preponderent însorite, din lunile august...septembrie.

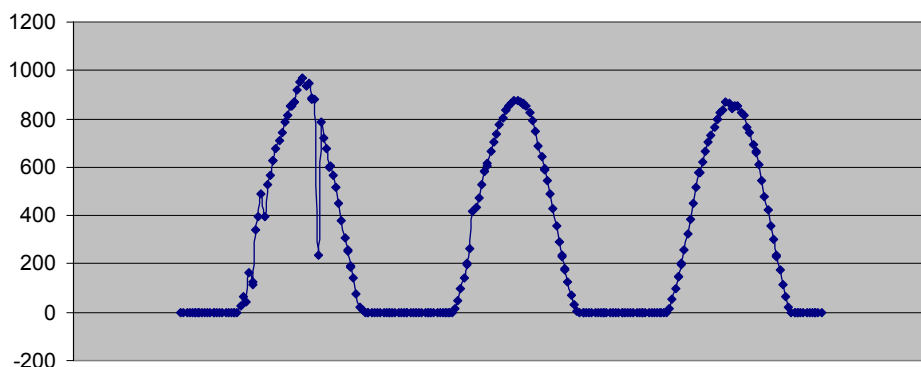


Fig. 34. Variația intensității radiației solare totale în 3 zile consecutiv însorite din august (15-17 august)

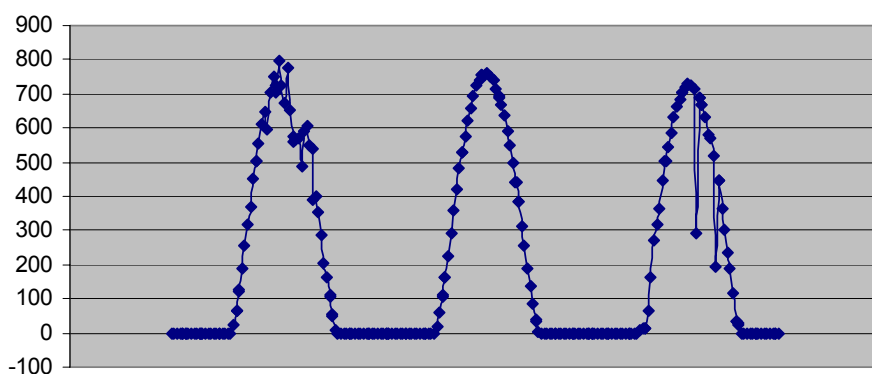


Fig. 35. Variația intensității radiației solare totale în 3 zile consecutiv însorite din septembrie (16-18 septembrie)

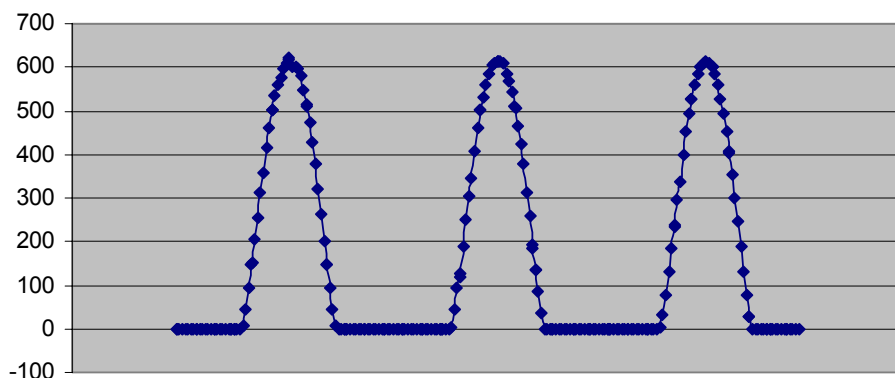


Fig. 36. Variația intensității radiației solare totale în 3 zile consecutiv însorite din octombrie (15-17 octombrie)

În figurile 2.37...2.39, se observă că în câteva zile preponderent înorate, s-au atins în jurul prânzului, chiar dacă pentru foarte scurt timp, valori foarte ridicate ale intensității radiației solare, peste $1000\text{W}/\text{m}^2$. Explicația posibilă a acestui fenomen, este că probabil în acele zile a și plouat, ploaia a curățat atmosfera de impurități și particule poluante, iar când în jurul prânzului, cerul a devenit senin, intensitatea radiației solare la nivelul solului a fost mai ridicată decât în mod normal, fenomenele de dispersie, absorbție și difuzie a radiației solare în atmosferă fiind mult diminuate. În zilele complet senine, nu se ating valori atât de ridicate ale intensității radiației solare.

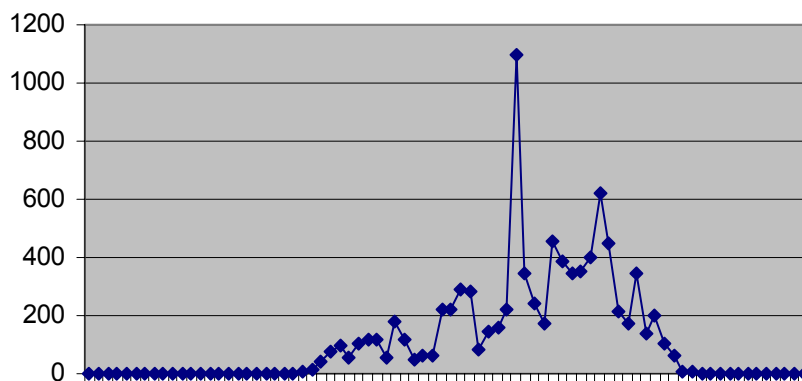


Fig. 37. Valoare ridicata a intensitatii radiatiei solare totale, dupa ploaie, in lipsa poluarii, in lipsa norilor, in miezul zilei (3 septembrie ora 14:20)

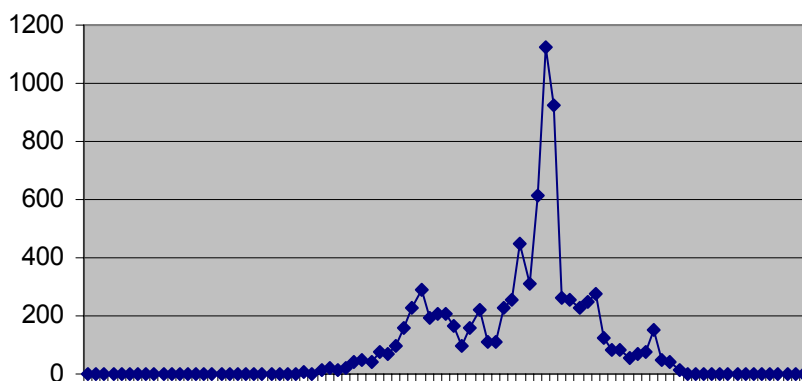


Fig. 38. Valoare ridicata a intensitatii radiatiei solare totale, dupa ploaie, in lipsa poluarii, in lipsa norilor, in miezul zilei (6 septembrie ora 15:20)

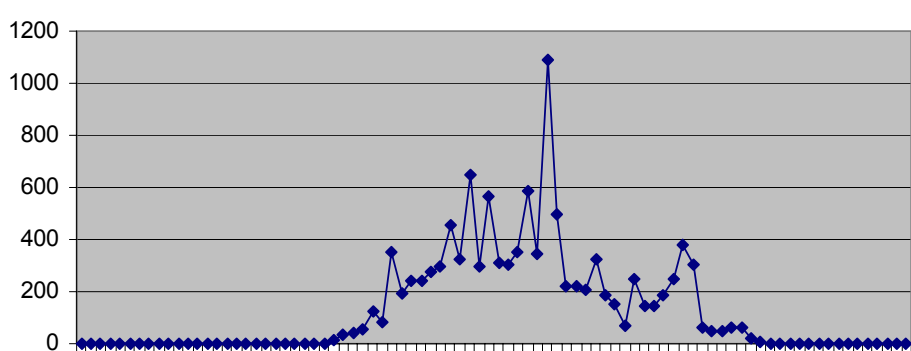


Fig. 39. Valori ridicate ale intensitatii radiatiei solare totale, in lipsa poluarii, in momentele fara nori, maximul in miezul zilei (10 septembrie ora 15:20)

Figura 2.40, prezintă variația intensității radiației totale, în două zile consecutive în care s-a înnorat imediat după prânz, urmate de o zi complet însorită.

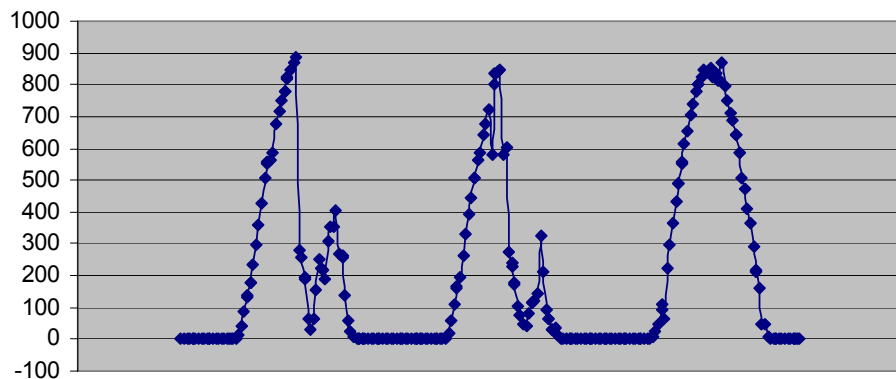


Fig. 40. Doua zile consecutive in care s-a înnorat după prânz, urmate de o zi complet însorită (18-20 august)

Figurile 2.41 și 2.42, prezintă variația intensității radiației solare, în succesiuni de zile însorite, din lunile august, respectiv septembrie.

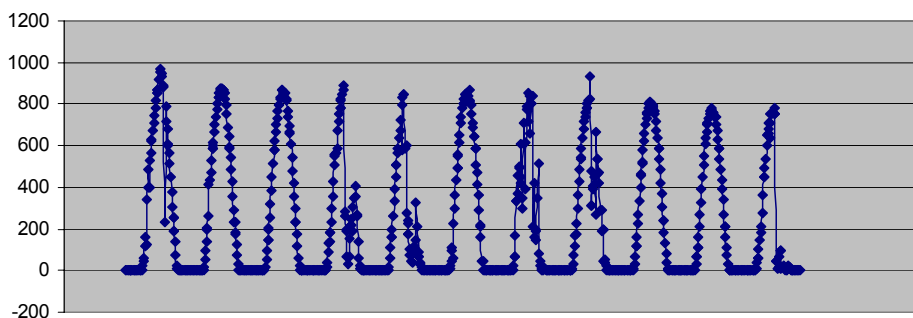


Fig. 41. Succesiune de zile preponderent însorite în august (15-25 august)

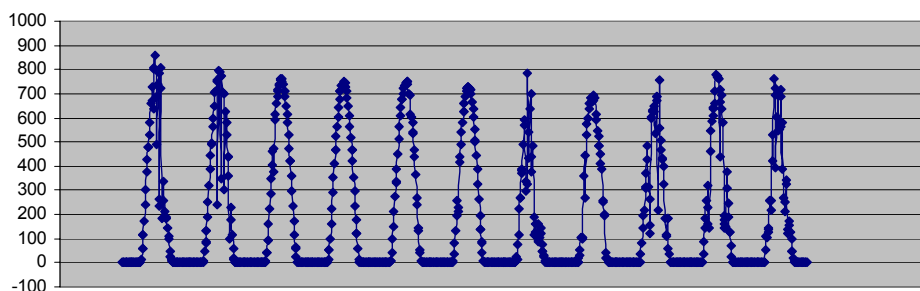


Fig. 42. Succesiune de zile preponderent însorite în septembrie (20-30 septembrie)

Rezultatele acestui studiu de monitorizare a intensității radiației solare, permit interpretări deosebit de interesante, care pot fi valorificate în sensul determinării potențialului local de utilizare a energiei solare. Asemenea rezultate preliminare au fost deja obținute, însă pentru finalizarea acestui studiu, este nevoie de o perioadă mult mai îndelungată de monitorizare a intensității radiației solare.