

## SINTEZA

lucrării de cercetare pentru contractul de finanțare 105 / 01.10.2007,  
cod CNCSIS 618, intitulat  
“CERCETĂRI INTERDISCIPLINARE DE STABILIRE A LIMITELOR DE POTENȚIAL ALE  
ENERGIEI SOLARE ÎN CORPURI SOLIDE PE INTERVALUL ÎNCĂLZIRE-TOPIRE”

### Introducere

Cuptorul solar este destinat proceselor de utilizare a energiei solare în scopuri tehnologice. Ca urmare a avantajelor acestui tip de instalație electrotermică, bazată pe surse de energie solară, se poate utiliza la diferite procese industriale, și anume:

- elaborarea oțelurilor și aliajelor speciale, topirea pentru turnare a fontelor, oțelurilor și metalelor neferoase;
- încălzirea metalelor în vederea tratamentelor termice (călire și revenire, recoacere, îmbătrânire, cementare, nitro-carburare) și a prelucrărilor la cald prin deformare;
- producerea de materiale abrazive, a carburii de calciu, a electrografitului;
- sudarea metalelor și maselor plastice;
- topirea și tratamentul termic al sticlei și al produselor ceramice;
- uscarea, prepararea și sterilizarea produselor alimentare.

Pentru obținerea unor temperaturi foarte precise de lucru, condiție esențială pentru obținerea unor materiale de calitate, o alegere optimă o reprezintă utilizarea cuptoarelor electrice cu rezistori.

Vizita de documentare-cercetare efectuată de Prof. univ. dr. ing. P. Vizureanu la Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale e Meccanica, Secunda Universita degli Napoli, Italia, în perioada 12-25 aprilie 2009 a deschis noi perspective de colaborare cu o echipă reductabilă din străinătate în vederea obținerii de noi rezultate datorită experienței anterioare în acest domeniu.

### 1. Caracterizarea procesului de topire / ardere / purificare în cuptoare solare

Aceste obiective au constat în dezvoltarea unor formalisme matematice care să permită o mai bună valorificare a avantajelor oferite la desfășurarea procesului de topire / ardere / purificare în cuptoare solare. În elaborarea acestor formalisme au fost utile stagiile de documentare efectuate până în prezent.

#### 1.1. Realizarea unui algoritm de proiectare a unui cuptor solar utilizat la topirea / arderea / purificarea materialelor metalice și nemetalice

Cuptorul solar este un cuptor experimental de laborator. În cadrul experimentelor ne propunem să procesăm cantități mici de material de până la 1 kg.

**Dimensionarea creuzetului.** Pentru realizarea creuzetului s-a ales ca material grafitul pentru rezistența sa la temperaturi mari de până la 2000 °C și pentru conductivitatea termică relativ mare. Pentru realizarea calculelor se alege ca material de încercare aluminiul, datorită densității sale la 1 kg ocupă un volum mai mare decât alte materiale care vor fi supuse prelucrării.

---

---

Volumul util al creuzetului se calculează după relația:

$$v = \frac{m}{\rho'} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$$

unde  $\rho'$  este densitatea materialului la temperatura mediului ambiant de 20°C, de exemplu pentru aluminiu  $\rho'_{met\_topit} = 2.72 \text{ kg/dm}^3$ .

**Dimensionarea zidăriei cuptorului și calculul termic.** Cuptorul are formă cilindrică. Dispunerea este pe verticală, iar pentru peretele acestuia s-a ales, având în vedere ținta de temperatură, o configurație din mai multe straturi, vezi figura 1:

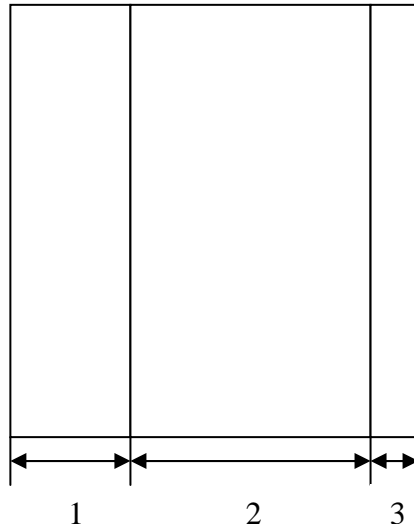


Figura 1. Diagrama peretelui cuptorului.

- 1 - căptușeală refractară din forme de cromagnezită cu grosimea de 15 mm;
- 2 - izolație termică din diatomit 700 tratat cu lianți cu grosimea de 30 mm;
- 3 - carcasă exterioară din tablă de inox cu grosimea de 2 mm.

Se admite temperatura exterioară a căptușelii refractare de cromomagnezită să fie de 1200°C.

**Rezistorii.** Alegerea materialului din care sunt confecționați rezistorii se face astfel încât temperatura sa maximă de lucru să depășească cu circa 2...10% temperatura maximă a cuptorului. Cum temperatura în cuptor poate ajunge la 1600 °C se alege pentru rezistori kanthalul.

Rezistorii din kanthal sunt sub formă de sârmă spiralată. În fiecare cameră a cuptorului avem 27 de rezistențe așezate în canelurile materialului refractar. Acestea sunt dispuse simetric, pe verticală și înconjoară creuzetul astfel încât să avem o temperatură uniformă în întreaga cameră a cuptorului solar. Lungimea fiecărei spirale de kanthal este de 105 mm. Rezistența echivalentă pe fiecare cameră este de 51,5 Ω. În figura 2 se poate vedea dispunerea celor 27 de rezistoare.

Puterea instalată a cuptorului se calculează cu relația:

$$P_i = k \cdot P = k \cdot \frac{Q_i}{t_i} \quad [W]$$

În care  $k=1,1 \div 1,5$  este coeficientul de siguranță care ține seama de posibilitatea forțării regimului de încălzire al cuptorului aflat în stare rece, de posibilitatea scăderii tensiunii rețelei față de valoarea sa nominală, de scăderea în timp a proprietăților izolației termice, de îmbătrânirea elementelor încălzitoare – care determină o rezistență mai mare decât cea calculată inițial și deci o putere dezvoltată mai mică.



Figura 2. Dispunerea în cameră a rezistorilor.

Cuptorul ce va fi construit, va fi în primă fază un cuptor de laborator, de dimensiuni mici, cu două camere prevăzute cu creuzet, cu volumul fiecărei camere active de 0,5 litri. Alegerea construcției unui cuptor cu două camere de lucru s-a făcut pentru optimizarea timpului de lucru.

S-a optat pentru un cuptor de tip cameră cu creuzet deoarece prezintă unele avantaje care constau în simplitatea construcției, posibilitatea utilizării pentru procese foarte diverse (topire, ardere, purificare) ca și posibilitatea realizării în cuptor a unor variate regimuri termice, adică exact ceea ce noi ne propunem să realizăm.

Cuptorul electric cu rezistori (în viitor se va dori cercetarea și pentru un cuptor cu inducție) are un regim de funcționare intermitent, deoarece ciclul de funcționare cuprinde:

- încărcarea creuzetului cu metalul ce se va prelucra;
- încălzirea;
- topirea;
- arderea;
- purificarea;
- descărcarea.

Cuptorul va avea posibilitatea sa se încadreze în toate clasele de temperaturi de lucru care sunt considerate criteriile de clasificare în tehnologia încălzirii cu energie electrică:

- cuptor de joasă temperatură (între 600-700 °C valoarea maximă a temperaturii);
- cuptoare de înaltă temperatură (până la 1600 °C).

### 1.2. Proiectarea virtuală a unui cuptor solar de topire / ardere / purificare

Schema cuptorului cu rezistori este prezentată în figura 3. Părțile componente ale cuptorului tip cameră cu creuzet sunt:

- incinte realizate din materialul refractar 1 și izolația termică 2;
  - elementele încălzitoare 3 sunt amplasate pe pereții laterali ai cuptorului;
  - creuzetul 4;
  - materialul care urmează a fi procesat 5;
  - cuptorul prezintă ușa 6, acționată cu ajutorul dispozitivului de ridicare 7 prin care sunt introduse materialele supuse prelucrării;
  - suportul cuptorului 8;
  - carcasă metalică 9.
- 
-

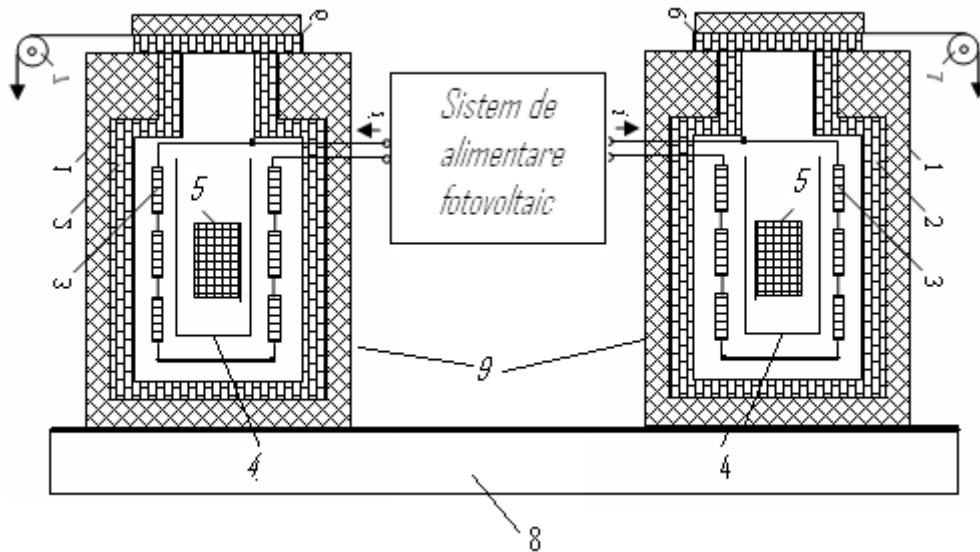


Figura 3. Schema cuptorului alimentat de la un sistem fotovoltaic cu rezistori pentru topirea / arderea / purificarea materialelor.

Pentru construcția cuptoarelor electrotermice sunt utilizate o serie de materiale specifice, necesare pentru realizarea incintei cuptorului, pentru realizarea elementelor încălzitoare ca și pentru realizarea sistemelor de măsurare a temperaturii.

## 2. Simularea procesului de încălzire a materialelor metalice în cuptoarele solare

### 2.1. Identificarea aranjamentului geometric optim al elementelor componente ale unui cuptor solar de încălzire a materialelor metalice

Sistemul fotovoltaic va fi compus din (vezi figura 4):

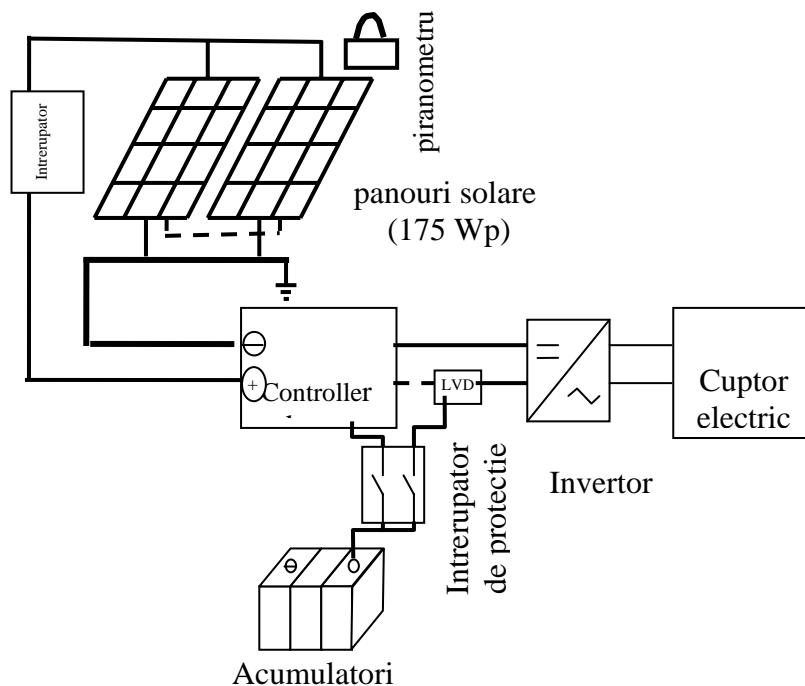


Figura 4. Sistemul fotovoltaic necesar pentru alimentarea cuptorului solar cu rezistori.

- panouri solare (s-au ales panouri fabricate din siliciu policristalin acestea având un raport preț/calitate foarte bun, și au o garanție de până la 20 de ani) care să asigure necesarul de energie cerut;
- sistem de baterii necesar pentru stocarea energiei și utilizarea cuptorului și în condiții neprielnice din punct de vedere al radiației solare (seara sau zile înnourate);
- regulator de tensiune;
- invertor necesar pentru a transforma curentul continuu în curent alternativ;
- accesorii;
- sistem sun-tracker (opțional – necesar obținerii unui randament mai bun al sistemului fotovoltaic, acesta fiind orientat în permanență astfel încât radiația solară să cadă perpendicular pe panourile solare).

Controlul temperaturii în cuptoarele electrice cu rezistori are o influență deosebită asupra calității produselor finale și asupra consumurilor specifice de energie. În funcție de condițiile specifice procesului tehnologic în primul rând de variațiile admise de temperatură în cuptor și în materialul supus încălzirii, sunt folosite sisteme de reglaj cu acțiune intermitentă sau cu acțiune continuă. Imaginea de ansamblu a cuptorului solar construit este redată în figura 5 a) și b).



a) b)  
Figura 5. Imagini de ansamblu ale cuptorului solar.

Pentru controlul temperaturii se va utiliza un algoritm de control PID utilizând ca senzor un termocuplu din clasa PtRh-18. Temperatura maximă de lucru a acestor termocupluri este de 1820 °C. Implementarea algoritmului PID se va face în limbajul de programare grafică LabVIEW. În figura 6 este prezentat panoul, interfața programului, aplicației PID, iar în figura 7 este prezentată diagrama, adică programul propriu-zis.

## 2.2. Interpretarea rezultatelor obținute

Alimentarea cuptorului solar se va face utilizând energia electrică produsă de un sistem fotovoltaic, care convertește energia solară, radiația solară, în energie electrică. În vederea realizării unui studiului de fezabilitate pentru radiația solară în zona Brașovului a fost achiziționat un piranometru SPN1 în anul 2008. Utilizând acest dispozitiv s-a măsurat radiația solară globală și cea difuză, putându-se calcula și radiația solară directă. Monitorizarea radiației solare s-a făcut începând cu luna februarie 2009.

Monitorizarea radiației solare globale și difuze s-a realizat la fiecare cinci minute.

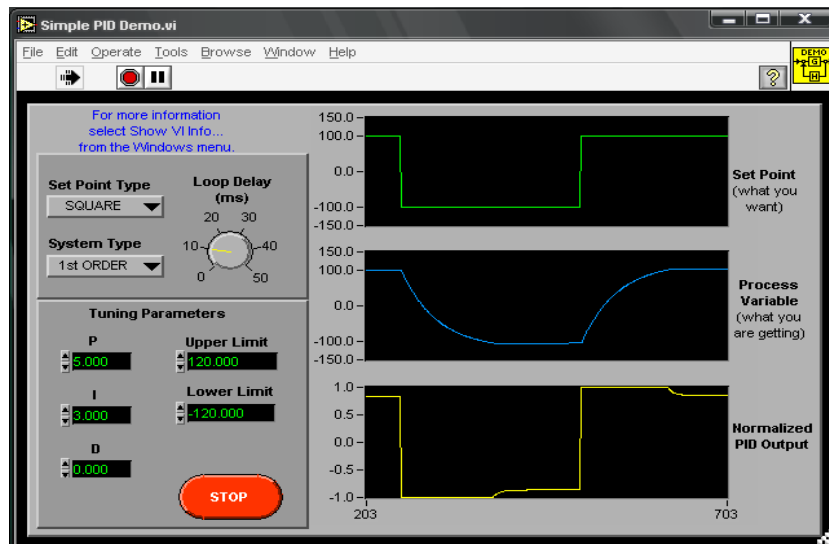


Figura 6. Interfața aplicației PID.

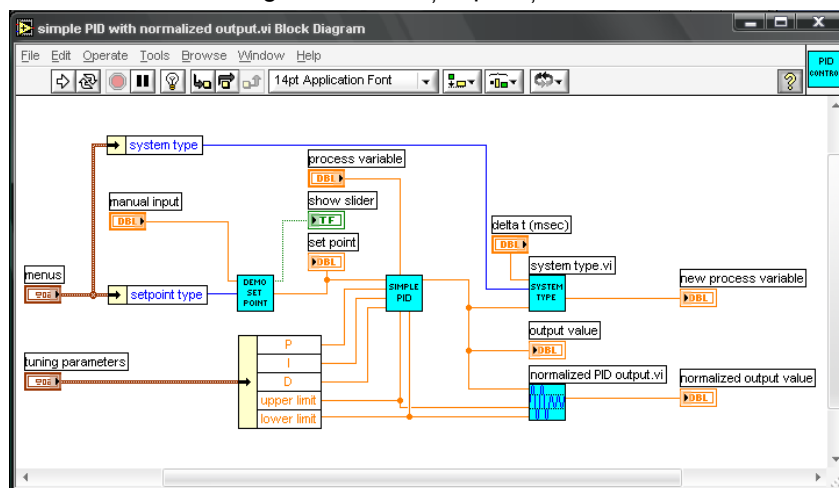


Figura 7. Diagrama aplicației PID.

Concluziile ce pot fi deduse în urma monitorizării radiației solare sunt:

- numărul maxim de zile consecutive noroase a fost de cinci, dar în acele zile au fost intervale de timp în care radiația solară globală orizontală a depășit valoarea de  $400 \text{ W/m}^2$  valoare care oferă posibilitatea sistemului de panouri fotovoltaice să ofere suficientă energie astfel încât cuptorul solar cu rezistori să funcționeze în condiții optime;
- sistemul fotovoltaic va fi capabil ca într-o zi cu cer senin, vezi figura 8, să producă aproximativ 6,8 kW; acest fapt, permite, atât utilizarea cuptorului la capacitate maximă, cât și posibilitatea ca surplusul de energie să fie stocat cu ajutorul bateriilor solare;
- în zilele înnourate, vezi figura 9, cantitatea de energie generată de sistem se reduce considerabil; într-o astfel de zi se produce doar 1,5 kW, ceea ce ar ajunge în condiții de utilizare judicioasă a cuptorului;
- dacă însă există perioade de timp mai îndelungate, cum este exemplificat în figura 10, atunci sistemul va apela la energia stocată în bateriile solare; sistemul de baterii este astfel proiectat să asigure o autonomie de până la cinci zile, fără a ridica costurile sistemului foarte mult;
- de exemplu, pentru ziua cea mai slabă din punct energetic, 12.06.2009, cantitatea de energie pe care o poate genera sistemul este de sub 800 W.

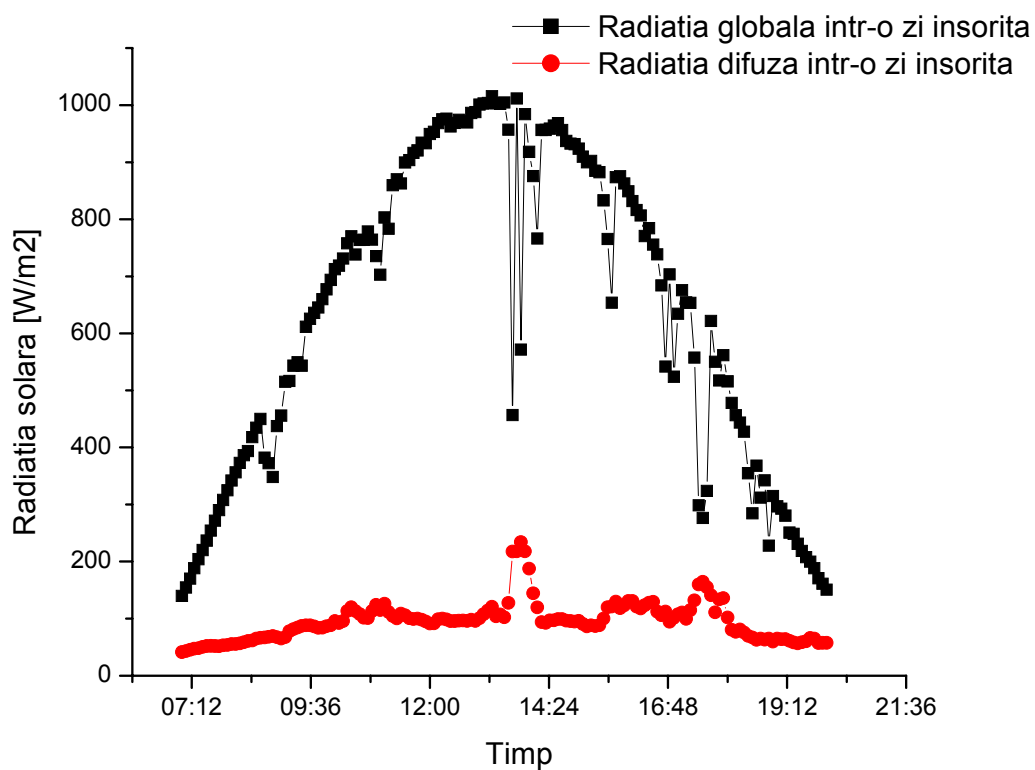


Figura 8. Distribuția radiației solare globale și difuze într-o zi însorită (14 iunie 2009).

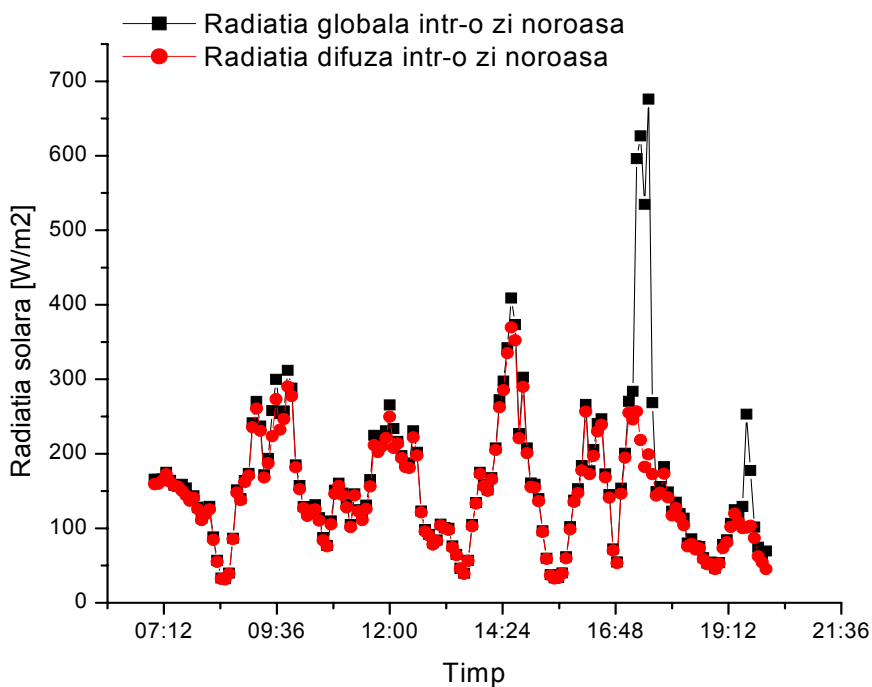


Figura 9. Distribuția radiației solare globale și difuze într-o zi noroasă (12 iunie 2009).

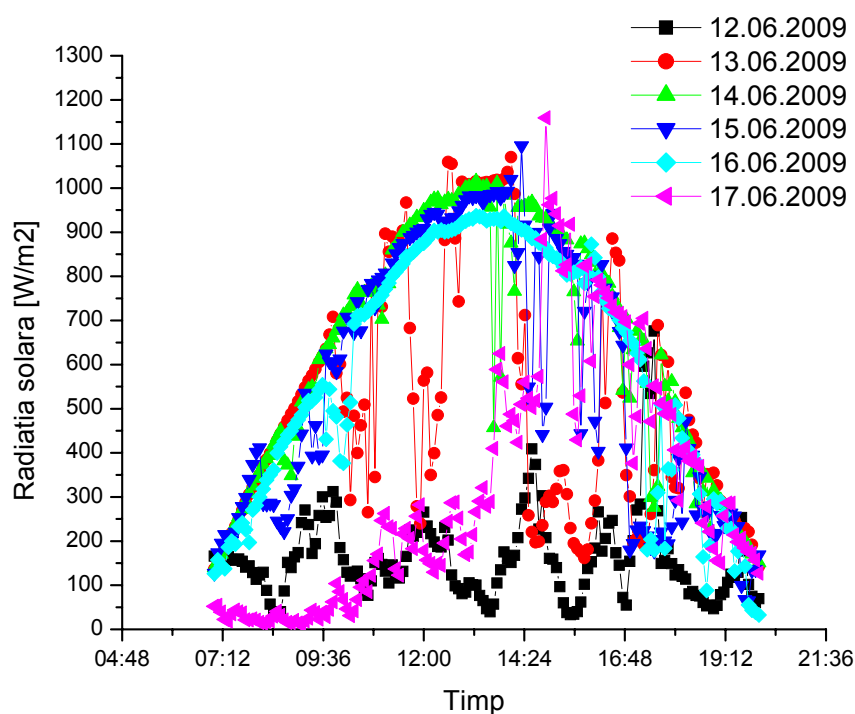


Figura 10. Distribuția radiației solare globale orizontale în intervalul 12-17.06.2009.

### Concluzii

Proiectul abordează o tematică dinamică, de interes, atât prin consistența problemelor, cât și prin aria largă de aplicații. Rezultatele obținute până în acest moment sunt / vor fi valorificate prin cuprinderea lor în articole deja acceptate sau aflate în curs de publicare, în reviste ISI sau în baze internaționale de date (SCOPUS), și comunicate la diferite conferințe naționale și internaționale, prezentate în Raportul de autoevaluare.

Obiectivele prevăzute în aceasta etapă au fost atinse în totalitate.

Directorul de proiect a coordonat realizarea obiectivelor propuse pentru această fază. Rezultatele deja obținute în cadrul acestei etape sunt și rodul colaborării cu cercetătorii din Italia, de la Secunda Universita degli Napoli.

Îndeplinirea obiectivelor a presupus o amplă activitate de informare. A fost necesară o bună stăpânire a unor metode matematice diverse și o cât mai bună informare referitor la cercetările experimentale privind topirea / arderea / purificarea materialelor. Importanța și complexitatea acestei tematici fac necesară o cercetare amănunțită, interdisciplinară. Astfel, echipa cuprinde specialiști din două domenii de vârf ale cercetării fundamentale actuale: știința materialelor și fizica. Lucrul în echipă a contribuit la închegarea unui nucleu de cercetare puternic. Rezultatele deja obținute ca urmare a activității de cercetare din acești ani deschid perspectivele îndeplinirii în totalitate a obiectivelor proiectului în ultimul an al proiectului în tematica abordată.

Director de proiect,  
Prof. univ. dr. ing. Petrică VIZUREANU