



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
CLUJ NAPOCA, 2018

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND RANDAMENTUL DE CONVERSIE LA UN CAPTATOR SOLAR SFERIC

Ferenc GĂSPĂR, Lucian Viorel FECHETE-TUTUNARU

EXPERIMENTAL RESEARCH ON SPHERICAL SOLAR COLLECTOR EFFICIENCY

The paper aims to provide an experimental investigation on the performance of a spherical solar collector in comparison with flat plate collector. The experimental setup consists of a spherical solar collector having 0.7 m in diameter for the absorber surface and a flat plate solar collector with 1.75 m² absorber surface. The effective absorber surface of the spherical collector considered in calculus was 50 % of the total spherical surface. An efficiency of 34% was obtained on the spherical collector. The flat plate solar collector proved to be more practical with 69 % efficiency.

Keywords: spherical solar collector, flat plate collector, solar energy
Cuvinte cheie: captator solar sferic, captator solar plan, energie solară

1. Introducere

Conceptul suprafețelor spațiale în domeniu energetic - solar apare prima dată prin anii 1970-1980, fapt dovedit prin existența a numeroaselor brevete din perioada respectivă [10,11,12]. Acest concept presupune utilizarea suprafețelor sferice, semisferice și cilindrice pentru captarea radiației solare combinat cu posibilitatea de a crea un rezervor de acumulare în interiorul suprafețelor respective.

O variantă îmbunătățită a acestui concept de captator solar sferic a fost brevetat în 2008 care a fost materializată prin introducerea în producție a captatorului sub denumirea comercială de „Sferasol” [16].

Cercetări privind captatoarele solare cu suprafață spațială din prisma determinării radiației incidente pe aceste suprafețe au fost realizate de Pelece ș.a. [9] – studiind suprafețele semisferice, pentru suprafețe sferice, studii au fost realizate de Samanta ș.a.[9] și Gaspar ș.a. [2 - 5].

Cercetări teoretice și experimentale privind randamentul conversiei energiei solare în energie termică cu acest tip de captator solar au fost realizate de Oztekin în 2006 [8], rezultând un randament maxim de 79 % iar pentru captatorul plan comparat de 55 % în condițiile în care temperatura fluidului termic nu depășea 34,4 °C.

O variantă constructivă a captatorului solar cu suprafață semisferică amintit anterior se găsește în comerț sub numele de BubbleSun [14]. Aceasta se caracterizează prin faptul că suprafața absorbantă cu o arie totală de 3 m² este însăși serpentina, realizat dintr-o conductă de diametru de 25 mm, din material plastic negru.

Numeroasele studii orientate în această direcție dovedesc interesul pentru aplicarea suprafețelor spațiale în domeniul captatoarelor termo solare. Ca urmare obiectivul principal propus și urmărit în cadrul cercetărilor experimentale este determinarea randamentului de conversie a energiei solare în energie termică a unui captator solar sferic comparativ cu un captator solar plan.

2. Aspecte teoretice

Randamentul de conversie al energiei solare în energie termică la un captator solar este o caracteristică care depinde și de forma captatorului, tipul și calitatea materialelor utilizate precum și de orientarea și poziționarea acestuia în raport cu direcția radiației solare incidente pe suprafața ei. Valoarea randamentului poate lua valori într-un domeniu relativ larg 45-75 % [1].

Pentru obținerea unei curbe reprezentative a randamentului de conversie prevederile SR EN 12975-2: 2002 precizează și stabilesc etapele și condițiile în efectuarea măsurătorilor [15].

Calculul randamentului de conversie al energiei solare în energie termică presupune măsurarea și determinarea următoarelor mărimi:

- densitatea fluxului de radiație totală pe suprafețele de captare;

- temperatura ambiantă;
- viteza vântului;
- temperatura apei la intrarea și ieșirea din captator;
- debitul volumic (sau masic) al agentului termic;
- unghiul de înclinare al captatorului (în cazul captatorului plan);
- aria totală a suprafețelor absorbante.

Randamentul instantaneu al captatorului se calculează cu relația (1):

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot G} \quad (1)$$

unde: G este densitatea fluxului de radiație incidentă pe suprafața captatorului sferic, în $\left[\frac{W}{m^2}\right]$;

A_c este aria totală a plăci absorbante, $[m^2]$;

iar Q_u reprezintă căldura utilă, în $[J]$, obținută în urma procesului de conversie și se determina cu relația:

$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_e - T_i), \quad (2)$$

în care:

\dot{m} este debitul masic al fluidului termic, $[kg/s]$;

- c_p căldura specifică a fluidului termic, $[J/(kg \cdot K)]$;

- $(T_e - T_i)$ reprezintă diferența dintre temperatura de ieșire și intrare a fluidului termic în captator, $[K]$.

Randamentul fiind o funcție care depinde de mai multe variabile, curba de randament se poate trasa funcție de densitatea fluxului radiației solare, debitul fluidului termic în captator, unghiul de incidență al radiației solare și temperatura ambiantă.

3. Baza materială

Instalația experimentală folosită (figura 1) pentru efectuarea cercetărilor a fost realizată în cadrul Laboratorului de „Cercetări în Domeniul Surselor Regenerabile de Energie” al Facultății de Mecanică din Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca. Este compusă dintr-un captator solar cu formă sferică (cu o rază de 0,35 m) și un captator solar cu suprafață plană (cu lățime de un metru, înălțime de doi metri și grosime de 0,075 m).



Fig.1 Vedere generală al standului experimental format din
Captatorul sferic și plan

Din punct de vedere constructiv captatorul solar sferic (figura 2) este format din învelișul transparent (1), suprafețele absorbante de formă semisferică (2) (semisfera sudică) respectiv (8) (semisfera nordică) care împreună formează sfera. În interior captatorul este izolat cu vată bazaltică (6). Captatorul este prins cu șuruburi (15) prin picioarele de susținere (14) de o placă suport orizontală (13).

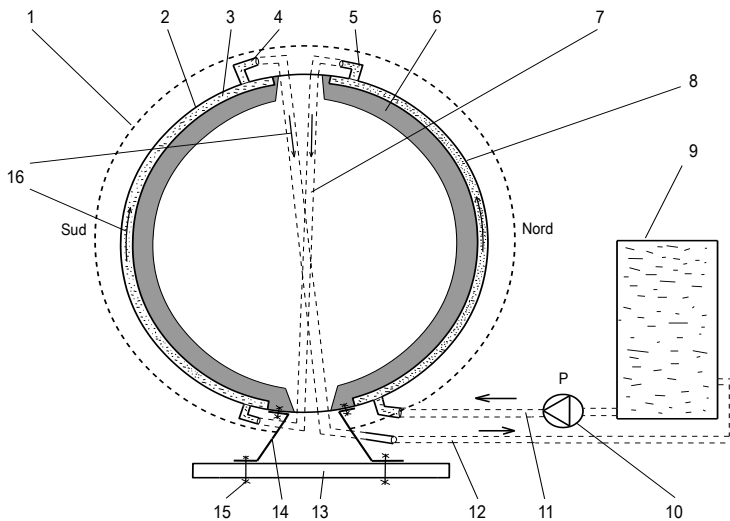


Fig. 2 Schița constructiv funcțională a instalației cu captatorul solar sferic

Plăcile absorbante de formă semisferică (2) și (8) formează, cu alte două plăci semisferice concentrice interioare, schimbătorul de căldură al captatorului. Între ele există un interstițiu de aproximativ patru milimetri în care circulă fluidul termic (3) purtător de căldură.

Fluidul termic din rezervorul de căldură (9) este recirculat de pompa (10). În prima etapă fluidul termic intră în schimbătorul de căldură corespunzător semisferei orientată către nord, este preîncălzit de energia solară a radiațiilor difuze. Iese prin orificiul (5) iar prin conducta intermediară (7) intră în schimbătorul de căldură al semisferei orientate către sud. Placa absorbantă semisferică (2) cedează energia solară, captată și convertită, fluidului termic, care iese prin orificiul (4) și conducta de ieșire (12) din captator și reintră în rezervorul de căldură (9) și circuitul se reia. Legarea în serie a suprafețelor absorbante semisferice este argumentată de minimizarea pierderilor termice și obținerea unei temperaturi mai ridicate a fluidului termic.

Suprafețele absorbante ale captatorului sferic au fost construite din tablă de oțel zincat, acoperite în patru straturi cu vopsea selectivă, SOLKOTE HI/SORB-II. Vopseaua are proprietăți optice selective (emisivitate 0,20 – 0,49 și absorbție 0,88 – 0,94) și rezistență la temperaturi ridicate. Emisivitatea vopselei depinde de materialul pe care se aplică precum și de grosimea și numărul de straturi aplicate.

Captatorul plan construit [6] respectă dimensiunile de gabarit ale unui captator uzual și are o suprafață netă de captare de 1,75 m² iar captatorul sferic are o suprafață netă de captare de 1,55 m².

Densitatea fluxului radiației solare a fost măsurată cu senzori de radiație tip Davis 6450 Solar Radiation Sensor.

Pentru măsurarea radiației solare s-au folosit doi senzori, unul montat în planul captatorului solar plan și altul montat pe un trepid care permite mișcarea senzorului astfel încât să fie tot timpul normal pe direcția de radiație.

Pentru măsurarea temperaturii s-au folosit:

- senzorul analogic cu circuit integrat LM35DZ;
- senzorul digital cu circuit integrat DS18B20+.

Pentru citirea informațiilor furnizate de senzori s-a folosit placa de achiziție Arduino Duemilanove w/Atmega328 pentru care s-a dezvoltat o aplicație care permite identificarea individuală a fiecărui senzor digital de temperatură.

Înregistrarea și stocarea datelor pentru procesare s-a realizat prin utilizarea programului Terminal v1.9b care permite citirea unui număr nelimitat de senzori prin placa de achiziție Arduino.

4. Metodologia de lucru

Pentru determinarea randamentului de conversie al captatoarelor, acestea au fost încărcate cu agent termic și expuse la soare. În acest scop au fost măsurate temperaturile fluidului termic la intrările respectiv, ieșirile din captatoare. Debitul s-a determinat prin măsurare volumetrică. Densitatea fluxului de radiație a fost permanent măsurată pe perioada experimentărilor. Datele măsurate au fost înregistrate la intervale de 5 secunde.

Randamentul de conversie al energiei solare în energie termică pentru instalația experimentală a fost determinat și calculat pe baza ecuației (3).

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_e - T_i)}{A_c \cdot G} \cdot 100, [\%] \quad (3)$$

Valorile parametrilor de intrare sunt:

- $A_{cp} = 1.8 \text{ m}^2$ aria totală a suprafeței absorbante a captatorului plan;
- $A_{cs} = 1.8 \text{ m}^2$ aria totală a suprafeței absorbante a captatorului sferic;
- c_p căldura specifică a apei.

Valorile parametrilor mășurați:

- \dot{m}_p debitului masic al fluidului termic prin captatorul plan, în $[\frac{kg}{s}]$;
- \dot{m}_s debitului masic al fluidului termic prin captatorul sferic, în $[\frac{kg}{s}]$;
- T_{iS} temperatura fluidului termic la intrarea în semisfera sudică a captatorului sferic, în $[^\circ C]$;
- T_{eS} temperatura fluidului termic la ieșirea din captatorul sferic, în $[^\circ C]$;
- T_{ip} temperatura fluidului termic la intrarea în captatorul plan, în $[^\circ C]$;
- T_{ep} temperatura fluidului termic la ieșirea din captatorul plan, în $[^\circ C]$;
- G_s densitatea fluxului de radiație incidentă pe suprafața captatorului sferic, în $[\frac{W}{m^2}]$;
- G_p densitatea fluxului de radiație incidentă pe suprafața captatorului plan, în $[\frac{W}{m^2}]$.

Radiația solară incidentă pe captatorul plan a fost măsurată cu un senzor de radiație montat în planul captatorului, obținând-se valori ale densității fluxului de radiație totală. Radiația incidentă pe captatorul

sferic a fost măsurată cu un senzor de radiație orientat permanent după poziția aparentă a Soarelui, obținându-se valori ale densității fluxului de radiație totală incidentă pe semisfera sudică. Din aceste considerente aria suprafeței absorbante luate în calcul este aria unei semisfere, respectiv 50 % din aria totală a sferei. Pentru temperatura fluidului termic la intrare în captator, s-a folosit temperatura fluidului la intrarea în semisfera sudică. Valorile parametrilor mășurați în timpul încercărilor experimentale pentru determinarea randamentului sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. măs.	\dot{m}_p [$\frac{kg}{s}$]	T_{ip} [$^{\circ}C$]	T_{ep} [$^{\circ}C$]	G_p [$\frac{W}{m^2}$]	\dot{m}_s [$\frac{kg}{s}$]	T_{is} [$^{\circ}C$]	T_{es} [$^{\circ}C$]	G_s [$\frac{W}{m^2}$]
1	0.030769	19.1	25.1	701.3	0.033300	19.4	20.7	768.9
2	0.020833	20.1	30.7	860.0	0.028302	20.8	23.2	859.7
3	0.020833	20.3	31.2	890.0	0.025000	21.0	23.2	905.8
4	0.024194	20.6	31.2	859.8	0.023077	21.2	23.5	883.8
5	0.023438	20.7	30.9	813.7	0.025000	21.3	23.8	879.7
6	0.020833	20.3	31.7	801.1	0.025000	21.2	23.5	879.4
7	0.023077	20.1	29.5	712.2	0.025000	20.9	23.2	853.4
8	0.025000	19.9	28.2	637.7	0.023077	20.7	22.9	821.8
9	0.025000	19.9	27.5	589.0	0.023438	20.8	23.0	801.3
10	0.023438	19.7	26.5	515.0	0.026786	20.4	22.3	760.1
11	0.023438	19.5	25.9	484.0	0.025862	20.3	22.1	749.6
12	0.023810	19.3	24.4	408.1	0.025000	20.1	21.8	706.8
13	0.025000	19.2	23.8	364.7	0.024590	19.9	21.5	674.6
14	0.024194	18.9	22.9	322.6	0.024590	19.8	21.3	643.5
15	0.024590	18.7	22.1	279.0	0.023438	19.5	21.1	604.6
16	0.023438	18.3	21.4	233.1	0.024194	18.9	20.2	554.6

Valoarea medie ale randamentului obținut pentru semisfera sudică a captatorului sferic este de 34 % în condițiile în care pentru captatorul plan valoare medie este de 69 %.

În cadrul încercărilor temperatura maximă a fluidului termic la ieșire din captator a fost de 23,8 $^{\circ}C$ în cazul captatorului sferic și 32,8 $^{\circ}C$ în cazul captatorului plan.

Valorile determinate pentru randamentul de conversie al celor două captatoare, comparativ, sunt reprezentate în figura 3.

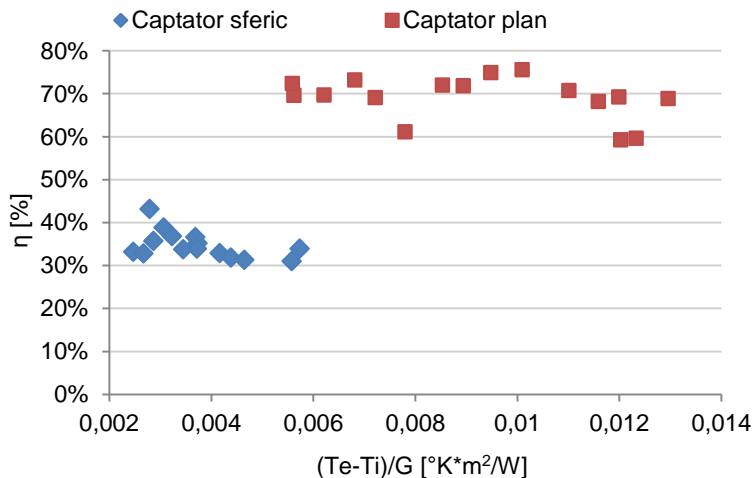


Fig. 3 Valorile randamentului de conversie, comparativ pentru cele două captatoare

Prin reprezentarea randamentului de conversie funcție de densitatea fluxului de radiație incidentă, la captatorul sferic, se observă o tendință de creștere a randamentului odată cu creșterea densității fluxului de radiație (figura 4).

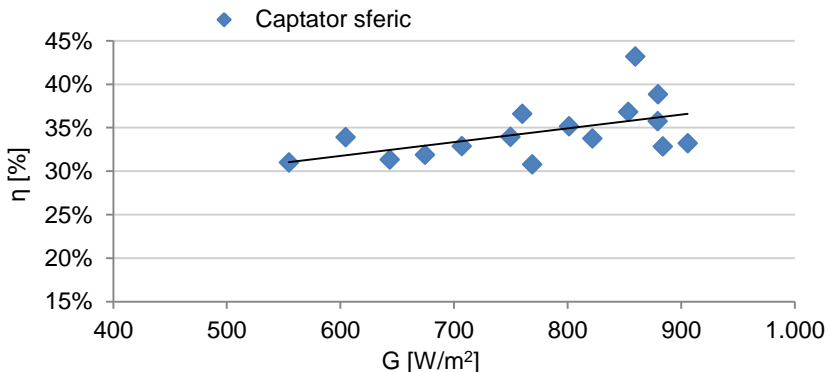


Fig. 4 Variația randamentului de conversie a captatorul sferic funcție de densitatea fluxului de radiație

5. Rezultate și concluzii

■ Cercetările experimentale au avut ca obiectiv evaluarea randamentului de conversie al energiei radiațiilor solare în căldură, la un sistem de conversie prevăzut cu un captator sferic comparativ cu un sistem cu un captator plan.

■ Instalația experimentală este format dintr-un captator plan cu o suprafață de 1.75 m^2 și un captator solar sferic cu o suprafață absorbantă sferică cu o arie totală de 1.55 m^2 .

■ Măsurătorile experimentale s-au efectuat pe parcursul a mai multor zile, în paralel și în aceleași condiții.

■ În scopul determinării randamentului de conversie al celor două captatoare solare s-a măsurat densitatea fluxul de radiație incidentă pe cele două suprafețe de captare, temperatura fluidului termic la intrarea respectiv la ieșirea din captatoare, precum și debitul fluidul termic, determinat volumetric. Densitatea fluxului de radiație incidentă pe captatorul solar plan înclinat la 46° a fost măsurată cu un senzor de radiație montat în planul captatorului. Densitatea fluxului de radiație incidentă pe captatorul sferic, respectiv pe semisfera normală pe direcția radiației, a fost măsurată cu un piranometru individual orientat după Soare.

■ În urma măsurătorilor pentru determinarea randamentului de conversie raportat la semisfera sudică a captatorului sferic s-a obținut un randament mediu de 34 %, iar pentru captatorul plan de a rezultat un randament de 69 %.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bălan, M. C., Jäntschi, L., Blboacă, Sorana, Damian, M., *Thermal Solar Collector Behaviour in Romania*, Polish J. of Environ. Stud. Vol. 19, No. 1, 2010, pp. 231-241.
- [2] Gaspar, F., Roș, V., *Studiu comparativ al captatorilor solari cu suprafețe plane și sferice prin prisma eficienței conversiei energiei solare în energie termică*, Știință și inginerie, An XI. Vol. 20, ISSN 2067-7138, Lucrările celei de A XI-a Conferințe Naționale Multidisciplinare – cu Participare Internațională – „Profesorul Dorin Pavel”, Sebeș, 2011, pag. 83-90.
- [3] Gaspar, F., Bălan, M., Jäntschi, L., Roș, V., *Evaluation of global solar radiation received by a spherical solar collector*, Bulletin UASVM Agriculture, vol. 69(2), ISSN 1843-5246, 2012, pp. 128-135.
- [4] Gaspar, F., Deac, Teodora, Fehete-Tutunaru, L.V., Moldovanu, D., *Experimental study on the sun tracking ability of a spherical solar collector*,

Energy Procedia, Volume 85, January 2016, Pages 220–227, EENVIRO-YRC 2015 – Bucharest,

[5] Gaspar, F., Cherecheș, I.A., Băldean, D-L., *Determinarea temperaturii maxime în stare de repaus a unui captator termo-solar plan. Prototip pentru un oraș inteligent*, Buletinul AGIR, nr. 1/2017, ianuarie-martie, ISSN – L 1224-7928, ISSN (online) 2247-3548, pag. 84-87.

[6] Gaspar, F., Baldean, D-L., *Optimizarea masică a unui captator plan*, Știință și inginerie, An XVI. Vol. 30, ISSN 2067-7138, 2016, pag. 53-60.

[7] Oztekin, B. *Experimental investigation of a spherical solar collector*, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankar, 2006.

[8] Pelece, I. Iljins, U., Ziemelis, Ē., Ziemelis, I. *Theoretical calculation of energy received by semi-spherical solar collector*, Agronomy Research 6(Special issue), 2008, 263–269, disponibil pe <http://www.eau.ee/~ agronomy/vol06Spec/p6S11.pdf>.

[9] Samanta, B., Rajab, Al Balushi, K., *Estimation of Incident Radiation on a Novel Spherical Solar Collector*. Renewable Energy, Vol. 14, Issues 1-4, 1998, pp. 241-247.

[10] * * * Brevet captator solar semisferic 1, www.freepatentsonline.com/2213894.pdf, accesat Noiembrie 2009.

[11] * * * Brevet captator solar semisferic 2, www.freepatentsonline.com/4344418.pdf, accesat Noiembrie 2009.

[12] * * * Brevet captator solar sferic 3, www.sumobrain.com/patents/wipo/Solar-water-heater/WO1985001790A1.pdf. accesat Ianuarie 2011.

[13] * * * BubbleSun - Hemispherical solar collector, Technical Manual, Assembly and instalation, <http://pdf.archiexpo.com/pdf/bubblesun/bubble-sun/62525-74261.html>, accesat în Ianuarie 2010.

[14] * * * SR EN 12975-2: 2002, Captatoare solare plane cu agent lichid. Determinarea randamentului termic în condiții naturale.

[15] * * * www.sferasol.com/spedizioni.html.

Șef lucr. Dr. Ing. Ferenc GÁSPÁR,
Șef lucr. Dr. Ing. Lucian Viorel FECHETE-TUTUNARU
Universitatea Tehnică din Cluj Napoca,
Facultatea de Mecanică
e-mail: ferenc.gaspar@auto.utcluj.ro