

MONITORING SOLAR RADIATION INTENSITY WITH SUN-EARTH ANGLE IN THE YEAR 2011 IN THE NORTH WEST OF BUCHAREST

MONITORIZAREA INTENSITĂȚII RADIAȚIEI SOLARE ÎN ANUL 2011 ÎN PARTEA DE NORD- VEST A ORASULUI BUCUREȘTI CU AJUTORUL UNGHIURILOR SOARE-PĂMÂNT

Lect. Ph.D. Eng. Rusănescu C.O., Prof. Ph.D. Eng. Paraschiv G., Lect. Ph.D. Eng. Murad E.,
Lect. Ph.D. Eng., Duțu M.F.

P.U. Bucharest / Romania

Tel: 021/402.96.37; E-mail: otiliarusanescu@yahoo.com

Abstract: In this paper is monitored the intensity of solar radiation by the meteorological station based on solar radiation intensity and are calculated: intensity of diffuse radiation, direct radiation intensity, declination angle, hour angle, zenith angle, azimuth angle. The weather station type: AWS / EV is a product born from the need to frequently monitor the environment variables. Use of appropriate mathematical algorithm that we presented in this paper for determining sun-earth angle makes it possible to accurately follow the sun in the sky.

The results of this monitoring solar radiation intensity, allow interpretations that can be exploited to determine the local potential of solar energy utilization. The efficiency of a solar collector (of thermal or PV panel type) can be meaningfully increased if the collector is tracked in accordance with the sun so that the incidence angle (angle between the sun ray and the perpendicular line on the collector's plane) becomes null or very small. Achieving this requirement involves modeling the Sun-Earth angle, which must be accurate, relatively simple to achieve.

Keywords: global, direct and diffuse radiation, declination angle, hour angle, zenith angle, azimuth angle.

INTRODUCTION

The sun is the Earth's energy source and is the only energy source able to maintain life on Earth. The sun is an inexhaustible source of energy, with an estimated duration of solar radiation of about 4...5 billion of years. Sun is not only the source of life on earth but also an important source of energy.

Global radiation from the Sun arrives on a horizontal surface at ground level in a clear day, as the sum of direct radiation and diffuse radiation. Direct solar radiation depends on the orientation of surface receivers.

In the proper design of buildings and/or other systems with the energy of the sun, solar radiations models suitable to reality are required.

Extraterrestrial solar radiation can be described, in a deterministic way, for any space and time position on earth, as a function of the sun-earth distance, the earth's inclination and the sun's zenith angle. The ground-level solar radiation is attenuated by atmosphere conditions, clouds distribution, climate type etc. So, for a given constant spatiotemporal position, the ground-level radiation is very difficult to predict. However, some statistical approximations for a specific period of the year can be carried out. [1]

MATERIAL AND METHOD

Global solar radiation intensity G in the horizontal plane was monitored by the weather station type: AWS / EV of the Faculty of ISB the U.P.B. SIAP + MICROS Geco program version 2.3.2 which automatically records the following parameters: atmospheric temperature, wind direction and speed, atmospheric humidity, solar radiation, rainfall.

Rezumat În această lucrare, am monitorizat intensitatea radiației solare de către stația meteorologică, pe baza intensității radiației solare am calculat: intensitatea radiației difuze, intensitatea radiației directe, unghiul de declinație, unghiul orar, unghiul zenit, unghiul azimut. Stația meteo tip: AWS/EV monitorizează frecvent variabilele de mediu. Utilizarea algoritmului matematic adecvat pe care l-am prezentat în lucrare pentru determinarea unghiurilor soare-pământ, face posibilă urmărirea cu exactitate a soarelui pe bolta cerească.

Rezultatele acestui studiu de monitorizare a intensității radiației solare, permit interpretări care pot fi valorificate în vederea stabilirii potențialului local de utilizare a energiei solare. Eficiența unui colector, poate fi semnificativ crescută în cazul în care colectorul este amplasat în conformitate cu soarele astfel încât unghiul de incidență (unghiul dintre raza de soare și linia perpendiculară pe planul colector) devine nul sau foarte mic. Realizarea acestei cerințe presupune o modelare a unghiurilor Soare-Pământ, care trebuie să fie corecte, relativ simple de realizat.

Cuvinte cheie: intensitatea radiației directe și intensitatea radiației difuze, unghiul de declinație, unghiul orar, unghiul zenit, unghiul azimut

INTRODUCERE

Soarele este sursa de energie a Pământului și este sursa de energie posibilă de a menține viața pe Pământ. Soarele este o sursă nepuizabilă de energie, cu o durată estimată a radiației solare de aproximativ 4...5 miliarde de ani. Soarele nu este doar sursa de viață de pe pământ, este de asemenea, o sursă importantă de energie.

Radiația solară directă depinde de orientarea de receptoare de suprafață. Radiația globală de la Soare ajunge pe o suprafață orizontală, la nivelul solului într-o zi ca sumă de radiație directă și difuză.

În proiectarea corectă a clădirilor și / sau alte sisteme cu energie de la soare, sunt necesare modelări ale radiației solare.

Radiația solară extraterestră poate fi descrisă, în funcție de distanța Soare-Pământ, înclinația pământului și unghiul zenit. Radiația solară la nivelul solului este atenuată de condițiile de atmosferă, de prezența norilor, etc Deci, pentru o poziție constantă acordată spatiotemporal, radiația la nivelul solului este foarte dificil de prezis. Cu toate acestea, unele aproximări statistice pentru o anumită perioadă a anului poate fi efectuată [1].

MATERIAL ȘI METODĂ

Intensitatea radiației solare globale G , în plan orizontal a fost monitorizată cu Stația meteo: AWS/EV de la Facultatea de ISB, cu programul SIAP MICROS Geco versiunea 2.3.2 programul înregistrează automat următorii parametri: temperatura atmosferică, direcția și viteza vântului, umiditatea atmosferică, radiația solară, cantitatea de precipitații.

RESULTS

Based on global radiation intensity, were calculated diffuse and direct components of solar radiation.

Figure 1 shows the proportion of diffuse radiation intensity and direct radiation in global radiation.

It is interesting to note that the intensity of diffuse radiation is rather high compared with direct radiation. Based on Weather Station Record, 24 hours of 24, in year 2011, was found a diffuse radiation to be equal to one fifth of the value of global radiation, and direct radiation is the difference between global and diffuse radiation. According to equation (1)

Where: D - is diffuse radiation intensity;
G - global or total radiation intensity
B - direct radiation intensity

REZULTATE

Pe baza intensității radiației globale înregistrate, am calculat componentele difuză și directă ale intensității radiației solare.

Figura 1 prezintă proporția de intensități de radiații difuze și intensități de radiații directe în radiația globală.

Este interesant de observat că intensitatea radiației difuze are o pondere ridicată comparativ cu intensitatea radiației directe. Bazat pe înregistrarea stației meteo 24 de ore din 24 în anul 2011, am presupus intensitatea radiației difuze egală cu o cincime din valoarea intensității radiației globale, iar intensitatea radiației directe este diferența între globală și difuză. Conform ecuației (1),

D – este intensitatea radiației difuză;
G – intensitatea radiației globală sau totală
B – intensitatea radiației directă

$$D = \frac{G}{5}, B = G - D \tag{1}$$

In figure 2 we presented the variation of global radiation recorded by the weather station in July 2011. Note that the value of global radiation was high on July 2, 2011 at 13, with a value of 960 W/m².

Based on measured and calculated values of global, diffuse, direct radiation from January 2011 – December 2011 it was graphically represented Figure 4. It is noted that large amounts of global radiation were recorded on May 24 at 2 o'clock p.m, with a value of 983, on June 18, at 1 o'clock p.m was the highest value of global radiation from 2011, namely of 1017 [W/m²].

În figura 2, am prezentat variația radiației globale înregistrată de stația meteo în luna iulie 2011. Se observă că valoarea radiației globale a fost maxima în data de 02 iulie 2011 la ora 13, având valoarea de 960 [W/m²].

Pe baza valorilor măsurate și calculate de radiație globală, difuză, directe din ianuarie 2011-decembrie 2011 am reprezentat grafic figura 4. Se observă că valoare mare a radiației globale s-a înregistrat pe 24 mai la ora 14, având valoarea de 983, în data de 18 iunie, ora 13 a fost înregistrată cea mai mare valoare a radiației globale din anul 2011 aceasta fiind de 1017 [W/m²].

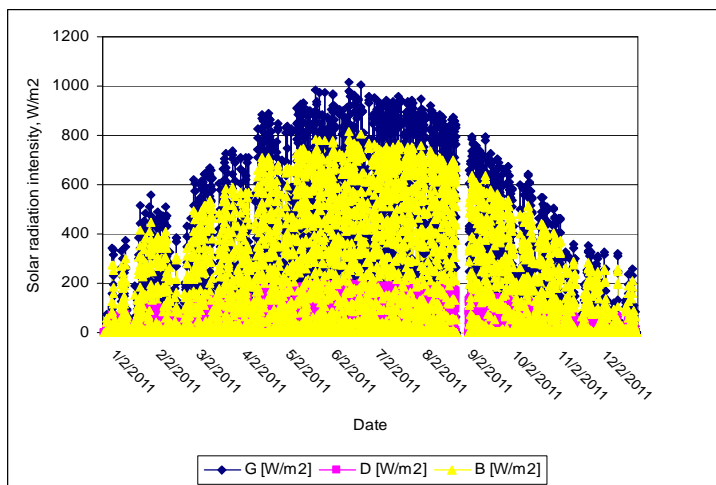


Fig. 1 - Variation of global direct and diffuse radiation for 2011 /
Variația radiației globale, directe și difuze pentru anul 2011

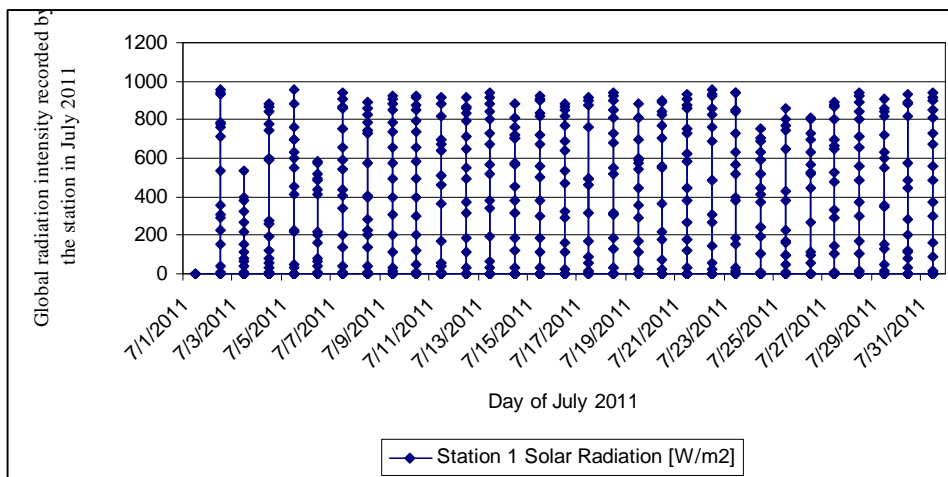


Fig. 2 - Variation of global radiation intensity recorded by the weather station in July 2011 /
Variația intensității radiației globale înregistrate de stația meteo în luna iulie 2011

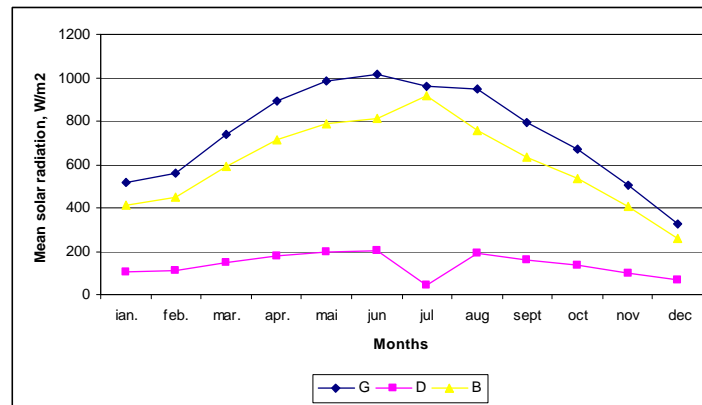


Fig. 3 - Mean global intensity of direct and diffuse radiation, in 2011 / Valoarea medie a intensitatii radiației globale, directe și difuze în anul 2011

Even in clear sky conditions, the radiation that reaches earth's surface in all directions from the diffusion phenomena, known as diffuse radiation, is 5...15% of the flux of solar radiation that reaches Earth's surface without being affected by this phenomenon, called direct radiation. Together, direct and diffuse radiation, represent the so called total or global radiation.

In Figure 3 is shown the correlation between components: global, direct, diffuse of radiation, the global component of the weather station being recorded at the Biotechnical Faculty Engineering Bucharest.

Calculation of angles

To determine the position of collector of solar radiation from the sun so the yield be maximum, the following angles are important: θ_z - zenith angle and solar azimuth angle γ_s (in figure 4 are the γ_s solar azimuth, elevation angle of the sun zenith angle α and hour angle ω) [2]

The calculation of these angles is done using mathematical formulas. Formula for the zenith angle is given by:

$$\cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (1)$$

where Φ is a constant depending on the place where weather station is positioned to Bucharest, the latitude is $44^{\circ}5'N$ and longitude $26^{\circ}2'44''$, δ is the declination, and ω is the angle zone.

Angle β of the plan: It has values between $0 \leq \beta \leq 180^{\circ}$. Azimuth angle γ : is the angle of projection on the horizontal plane perpendicular to the sensor surface and the local meridian. Is 0 when the sensor plane is oriented to the south, is negative when oriented to east and positive when is orientated to west. Solar azimuth angle γ_s : is the angle between the south and the horizontal projection of direct radiation, α_s sun height angle: the angle of the sunlight falling on the sensor and the horizontal plane.

This angle depends on the latitude of the place of capture Φ , the declination angle δ and ω time. Relationship calculation is:

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega = \cos \theta_z \quad (2)$$

Zenith angle θ_z is the angle between vertical and solar ray falling on the sensor. In other words it is the complementary angle α_s .

Angle zone ω : determines the position of the sun in the sky at a certain moment. Is 0 when the sun passes over the local meridian corresponding to point of the sensor location. This angle is positive to the east and negative to the west.

In one hour the sun crosses the sky with a 15° angle and its position at any time (T) is determined by the

Chiar în condiții de cer senin, radiația care ajunge la suprafața pământului, în toate direcțiile datorată fenomenelor de difuzie, cunoscută sub numele de radiație difuză, este de 5...15 % din fluxul de radiație solară care ajunge la suprafața pământului, o altă radiație fără a fi afectată de acest fenomen, este numită radiație directă. Împreună, radiația directă și difuză reprezintă radiația totală sau globală.

În figura 3 este prezentată corelația între componentele: globale, directă, difuză ale radiației, componenta globală a fost înregistrată de stația meteo de la Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice București.

Calculul unghiurilor

Pentru a determina poziția captatorului de radiații solare față de soare astfel încât randamentul său să fie maxim sunt importante următoarele unghiuri: azimutul solar γ_s (în figura 4 sunt azimutul solar γ_s , unghiul de înălțare a soarelui α_s și θ_z unghiul zenith, unghiul orar ω) [2].

Calculul acestor unghiuri se face folosind formule matematice. Formula pentru unghiul zenit este:

unde Φ este o constantă în funcție de locul unde este amplasată stația meteo latitudinea este $44^{\circ}5'N$ și longitudinea $26^{\circ}2'44''$, δ este unghiul de declinație, ω unghiul orar.

Unghiul de înclinare a planului β are valori cuprinse între $0 \leq \beta \leq 180^{\circ}$. Unghiul azimutal γ : este unghiul dintre proiecția pe planul orizontal a perpendicularei pe suprafața captatorului și meridianul local. Are valoarea 0 când planul captatorului este orientat spre sud, este negativ când are orientarea spre est și pozitiv când are orientarea spre vest, unghiul de azimut solar γ_s : este unghiul dintre direcția sud și proiecția pe planul orizontal a radiației directe, unghiul de înălțime a Soarelui α_s : este unghiul dintre direcția razei solare ce cade pe captator și planul orizontal.

Acest unghi depinde de latitudinea locului de captare Φ , de declinația δ și de unghiul orar ω . Relația de calcul este:

Unghiul zenital θ_z : este unghiul dintre verticală și raza solară ce cade pe captator. Altfel spus este unghiul complementar a lui α_s .

Unghiul orar ω : determină poziția Soarelui pe bolta cerească în momentul dat. Are valoarea 0 în momentul în care Soarele trece meridianul local corespunzător punctului de amplasare al captatorului. Acest unghi este pozitiv spre est (la răsărit) și negativ spre vest (la asfințit).

Într-o oră Soarele traversează bolta cerească cu un unghi de 15° , iar poziția lui la orice oră (T) se determină cu

relationship:

relația:

$$\omega = 15 \cdot (12 - T) \tag{3}$$

If the angle of declination, latitude and time angle are known, can be determined the Sun position by calculating the Sun high angle and solar azimuth angle, applying the above calculation relations.

The angle between the direction to the Sun in the place of capture and equatorial plane is called declination δ .

Formulas for calculating the angle of declination:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \tag{4}$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(n - 80)}{365}\right) \tag{5}$$

where n is the day of the year when the measurements were taken: $n = 30,416 (l-1) + x$, In which $l \in (1.....12)$: it is the month of the year; x – number of days in that month.

Based on the mathematical algorithm described above, the results are presented in the graph in Figures 5-10.

According to relations (4, 5) and Figure 5 and 6 the angle of declination is dependent on the day the measurements of solar radiation were made. In Figure 5 are represented the declination angle values in July 2011 and in Figure 6 are represented the minimum and maximum declination angle values based on statistical analysis in 2011.

From figure 7 is observed as shown in literature of specialty [4, 5] that time angle values are positive in the morning and negative after twelve o'clock.

According to Figure 10, azimuth angle γ is 0 when the plane collector faces south and is positive when it has west orientation.

Dacă sunt cunoscute unghiul de declinație, latitudinea și unghiul orar se poate determina poziția Soarelui pe bolta cerească calculând unghiul de înălțime a Soarelui și unghiul de azimut solar, aplicând relațiile de calcul prezentate mai sus.

Unghiul dintre direcția spre Soare din locul de captare și planul ecuatorial se numește declinația δ .

Relațiile de calcul a unghiului de declinație δ , sunt:

unde n este ziua din an în care au fost luate măsurătorile.

$n = 30,416 (l-1) + x$, $l \in (1.....12)$ luna din an; x – numărul zilei din lună.

Pe baza algoritmului matematic, descris am prezentat rezultatele în figurile 5-10.

Conform relațiilor (4, 5) și figurilor 5 și 6 valoarea unghiului de declinație este dependentă de ziua n în care au fost făcute măsurătorile intensității radiației solare. În figura 5 sunt reprezentate valorile unghiului de declinație în luna iulie 2011 iar în figura 6 sunt reprezentate valorile minime și maxime ale unghiului de declinație pe baza analizei statistice în anul 2011.

Din figura 7 se observă așa cum reiese și din literaturade specialitate [4, 5] că valorile unghiului orar sunt pozitive dimineata și negative după amiază.

Conform figurii 10, unghiul azimutal γ are valoarea 0 când planul captatorului este orientat spre sud și valori pozitive când are orientarea spre vest.

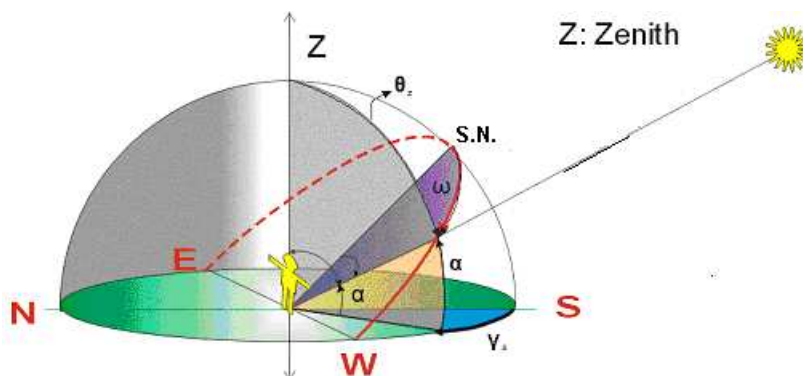


Fig. 4 - Trajectory of the sun in the sky- important angles / Reprezentarea unghiurilor de stabilire a poziției Soarelui pe bolta cerească [3]

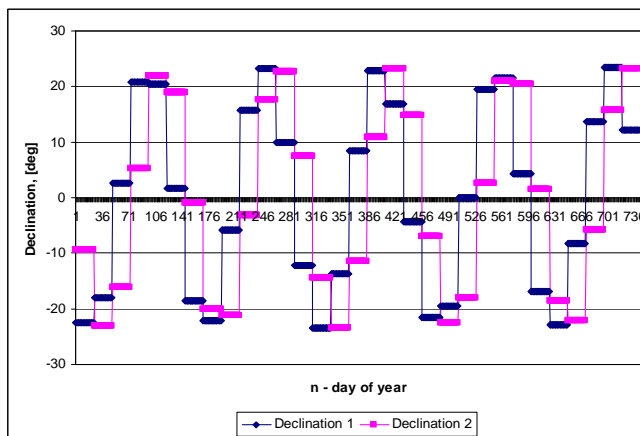


Fig. 5 - The variation of the declination angle depending on the day number of the year (n), calculated with the formulas of the two authors in July 2011 / Variația unghiului de declinație în funcție de ziua n calculată conform celor doi autori în iulie 2011

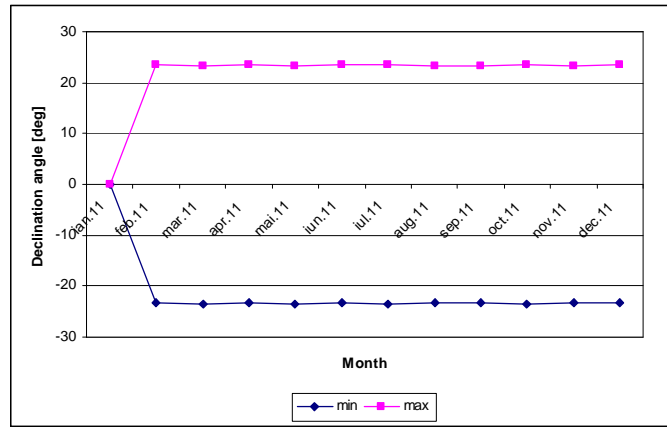


Fig. 6 - Variation of minimum and maximum values of the angle of declination in 2011 / *Variația valorilor minime și maxime ale unghiului de declinație în anul 2011*

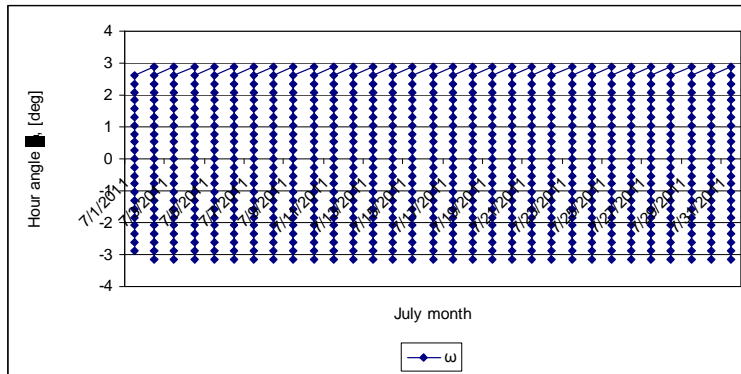


Fig. 7 - The variation of the hour angle in July 2011 / *Variația unghiului orar în luna iulie 2011*

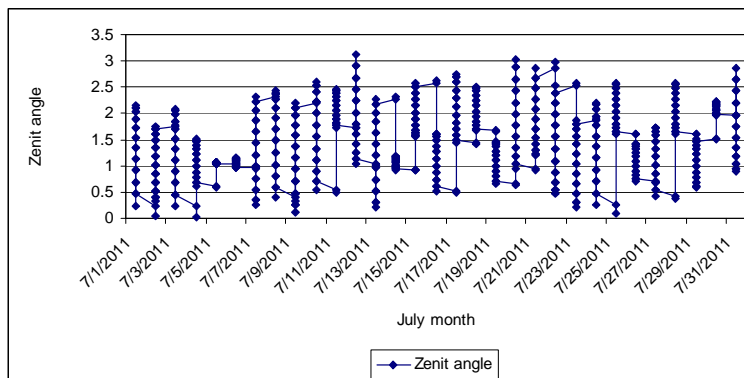


Fig. 8 - Zenith angle in July 2011 / *Unghiul zenit în luna iulie 2011*

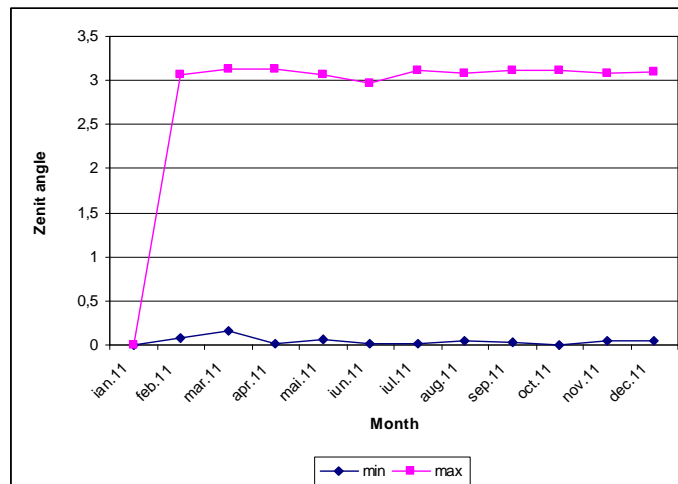


Fig. 9 - Variation of minimum and maximum values of the angle of zenith in 2011 / *Variația valorilor minime și maxime ale unghiului de zenit în anul 2011*

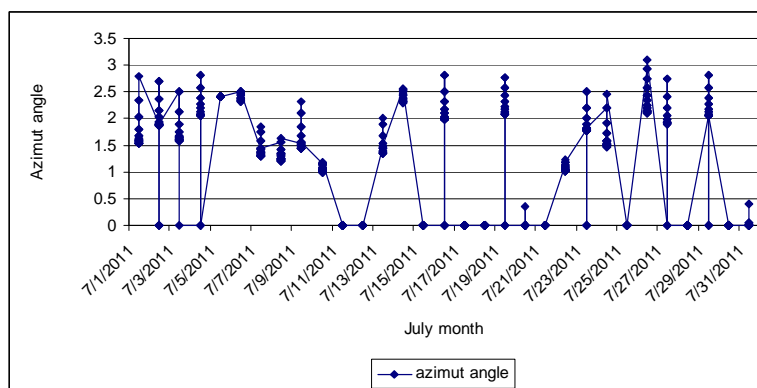


Fig. 10 - Azimuth angle in July 2011/ Unghiul azimut în luna iulie 2011

CONCLUSIONS

Using mathematical algorithm presented in this paper to determine the sun-earth angle (angle of declination, zenith angle, Solar azimuth), makes it possible to determine the position of collector of solar radiation from the sun so that its efficiency is maximum. Based on mathematical algorithm, we determined the values of these angles for 2011 and we plotted the values of angles for July, month when was recorded maximum solar radiation and minimum and maximum values for the whole year.

The results of this study of monitoring the intensity of solar radiation, allow interpretations that can be capitalized for the purposes of determining the local potential of using solar energy. To complete this study, it takes longer to monitor the intensity of solar radiation. Solar energy is the gateway to a new era, with its use in heating, resulting in reduction of environmental pollution.

The efficiency of a solar collector (of thermal or PV panel type) can be meaningfully increased if the collector is tracked in accordance with the sun so that the incidence angle (angle between the sun ray and the perpendicular line on the collector's plane) becomes null or very small. The achievement of this requirement supposes a modelling of the Sun-Earth angles that have to be accurate, relatively simple.

REFERENCES

- [1]. Antaluca E., Merino I., Beckers B. (2010) - *Correlation between Measured and Calculated Solar Radiation Data in Compiègne, France*, Proceedings of the International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT TECHNOLOGIES and EQUIPMENT;
- [2]. Bostan I., Dulgheru V., Sobor I. ET AL. (2007) – *Renewable energy conversion systems* – Chapter II – *Solar Energy*, Technical House-Info Publishing;
- [3]. Cotfas D. T., Cotfas P. A., Cojocariu C., Costinescu L., Samoila C. (2008) - *Solar Tracker with mathematical algorithm* – National Conference of Virtual Instruments, Ed.V-th, Bucharest;
- [4]. Goswami D.J., Kreith K., Kreider J.F. (1999) - *Principles of Solar Engineering*, Philadelphia, PA, George H. Buchanan Co.;
- [5]. Messenger R., Ventre J. (2000) - *Photovoltaic System Engineering*, Boca Raton, London, New York, Washington, CRC Press.

CONCLUZII

Utilizarea algoritmului matematic prezentat in lucrare, pentru determinarea unghiurilor soare-pământ (unghiul de declinație, unghiul zenit, azimutul solar), face posibila determinarea poziției captatorului de radiatii solare față de soare astfel încât randamentul său să fie maxim. Pe baza algoritmului matematic, am determinat valorile acestor unghiuri pentru anul 2011 și am reprezentat grafic valorile unghiurilor pentru luna iulie, lună în care s-a înregistrat valoarea maximă a intensității radiației solare, precum și valorile minime și maxime pe întreg anul.

Rezultatele acestui studiu de monitorizare a intensității radiației solare, permit interpretări care pot fi valorificate în vederea stabilirii potențialului local de utilizare a energiei solare. Pentru a finaliza acest studiu, este nevoie de mai mult timp de monitorizare a intensității radiației solare. Energia solară este poarta către o nouă eră, cu utilizarea acesteia în sistemele de încălzire, rezultând reducerea poluării mediului.

Eficiența unui colector solar (de tip panou termic sau PV), poate fi semnificativ crescută în cazul în care colectorul este amplasat în conformitate cu soarele astfel încât unghiul de incidență (unghiul dintre raza de soare și linia perpendiculară pe planul colector) devine nul sau foarte mic. Realizarea acestei cerințe presupune o modelare a unghiurilor Soare-Pământ, care trebuie să fie corecte, relativ simplu.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Antaluca E., Merino I., Beckers B. (2010) – *Corelatia dintre datele radiației solare calculate si masurate in zona Compiègne, Franta*, Procedee ale Conferinței Internationale privind ENERGIA și TEHNOLOGIILE SI ECHIPAMENTUL LEGATE DE MEDIU;
- [2]. Bostan I., Dulgheru V., Sobor I. ș.a. (2007) - *Sisteme de conversie a energiilor regenerabile* - capitolul II - *Energia solară*, Editura Tehnica-Info, Chișinău;
- [3]. Cotfas D. T., Cotfas P. A., Cojocariu C., Costinescu L., Samoila C. (2008) - *Solar Tracker cu algoritm matematic* - Conferința Națională de Instrumentație virtuală, Ediția a V-a, București;
- [4]. Goswami D.J., Kreith K., Kreider J.F. (1999) - *Principiile ingineriei solare*, Philadelphia, PA, George H. Buchanan Co.;
- [5]. Messenger R., Ventre J. (2000) - *Sistemul fotovoltaic de inginerie*, Boca Raton, London, New York, Washington, CRC Press.