
ASSESSMENT OF THE ENERGY PERFORMANCE OF THE SOLAR SPACE SYSTEM ATTACHED TO THE CE – INCERC BUCHAREST EXPERIMENTAL HOUSE – EXPERIMENTAL VALIDATION

Dan CONSTANTINESCU*

ABSTRACT

The INCERC Bucharest experimental house is equipped on the Southern façade with a ventilated solar space. The solar space ensures the ventilation of the entire building at a constant rate of 0.60 exchanges/h during the cold season, by inletting the pre-heated space in the greenhouse space. In the hot season the system ensures the building reversible ventilation by providing the fresh air rate by air suction in the building Northern zone, a consequence of the natural draught effect ensured by the solar space. This report presents the experiments performed in the season 2008-2009 and the experimental validation of the mathematical model used in assessing the solar space energy performance in the heating season.

Key-words: energy performance of buildings, ventilated solar space, building ventilation, mathematical model for performance evaluation of space solar power, solar energy

REZUMAT

Clădirea experimentală din incinta INCERC București este dotată pe fațada sa sud cu un spațiu solar ventilat. Spațiul solar asigură integral ventilarea clădirii la o rată constantă de ventilare de 0,60 sch / h pe durata sezonului rece, prin introducerea aerului preîncălzit în spațiul serei. În sezonul cald sistemul asigură ventilarea reversibilă a clădirii prin asigurarea cotei de aer proaspăt ca urmare a aspirării aerului din zona de nord a acesteia, consecință a efectului de tiraj natural asigurat de spațiul solar. Lucrarea prezintă experimentările realizate în sezonul 2008-2009, precum și validarea experimentală a modelului matematic de evaluare a performanței energetice a spațiului solar, în sezonul de încălzire.

Cuvinte cheie: performanța energetică a clădirilor, spațiu solar ventilat, ventilare clădire, model matematic de evaluare a performanței energetice a spațiului solar, energie solară

1. INTRODUCTION

The use of solar energy in spaces conditioning in the form of passive and active systems was the object of an important national research programme coordinated by INCERC Bucharest and carried out in the period 1972-1985. A combination of the characteristics of two passive solutions experimented on the support of the 2 solar houses: CS 1 Câmpina (1974) and CS 3 Bucharest (1982) (modified Trombe and unventilated solar space) is represented by the Controlled ventilation solar space, which is the object of this report. The solution was experimentally validated on the support of the CE INCERC Bucharest experimental building. The report aims to present the calculation method proper for dimensioning and for assessing the energy performance of the Ventilated solar space as a part of a new building which is efficient in terms of energy performance. The mathematical model is detailed and its validation on the support of the experimental building in the season September 2008 – March 2009 is presented as well.

1. INTRODUCERE

Utilizarea energiei solare în scopul climatizării spațiilor sub forma sistemelor pasive și active a constituit obiectul unui important program național de cercetare coordonat de INCERC București și desfășurat în intervalul 1972-1985. O combinație a proprietăților a două soluții pasive experimentate pe suportul caselor solare CS 1 Câmpina (1974) și CS 3 București (1982) (Trombe modificat și spațiu solar neventilat), o reprezintă Spațiul solar cu ventilare controlată care face obiectul lucrării de față. Validarea experimentală a soluției s-a realizat pe suportul clădirii experimentale CE INCERC București. Scopul lucrării constă în prezentarea metodei de calcul adecvată dimensionării și estimării performanței energetice a sistemului Spațiu solar ventilat, ca parte a dotării unei clădiri noi performante din punct de vedere energetic. Se prezintă detaliat modelul matematic, precum și validarea acestuia pe suportul clădirii experimentale în sezonul septembrie 2008 – martie 2009.

*National Building Research Institute – INCERC, Bucharest, Romania; e-mail: dan.constantinescu@incerc2004.ro

2. MEASURED THERMODYNAMIC PARAMETERS

The INCERC experimental building [1], [3] assigned to the experimental validation of the Buildings Energy Performance calculation methods is equipped with a ventilated solar space. The function of the solar space in ensuring the occupied space thermal comfort is reversible. In fact, in the hot season, air is taken out from the occupied space and exhausted outside which allows the natural ventilation of the rooms by taking over air from outside; in the cold season it entirely substitutes the function of admitting fresh air in the occupied space by forcedly introducing pre-heated air in the occupied space. The pre-heating function is taken over by the solar radiation collecting unit (a reinforced concrete 0.20 m thick wall) as well as by the triple and selective glazing of the collecting greenhouse. The air flow is ensured by two ventilators providing a constant air flow-rate which corresponds to a ventilation rate of 0.6 exchanges / h specific to the dwelling building, properly supplied with fresh air. The air entirely taken from the outside, the temperature of which is $t_e(\tau)$ flows along the collecting greenhouse space height and is flown into the dwelling space at a temperature of $t_{ss}(\tau) > t_e(\tau)$. In fact the solar space takes over a part of the heat quantity to be supplied to the fresh air to let it reach the indoor air comfort temperature, $t_a(\tau)$, but in many hours of the cold season it also ensures space heating, entirely or partly, replacing the conventional heating source.

The long-term experiment (since 2005) emphasizes the important function of the solar space in reducing the heat demand (by about 30 %), correlated with the high rate of the building thermal protection. The solar space becomes therefore an active-passive component (mixed) in efficiently using solar radiation in ventilation as well as in reducing the building heat / cold consumption.

In terms of quantifying the solar space thermal response, it is interesting to know the temperature variation of the pre-heated/hot air flown into the occupied space, the thermal flow specific to the collector inside surface and the building heat consumption reduction during long periods (week, month and season) in the cold season. We

2. PARAMETRI TERMODINAMICI MĂSURAȚI

Clădirea experimentală [1] amenajată în incinta INCERC, destinată validării experimentale a metodelor de calcul al Performanței Energetice a Clădirilor, este dotată cu spațiu solar ventilat. Funcțiunea spațiului solar în realizarea confortului termic al spațiului ocupat este una reversibilă. Practic, în sezonul cald este extras aer din spațiul ocupat și evacuat în exterior, ceea ce permite ventilarea naturală a incintelor prin preluarea aerului din exterior, iar în sezonul rece substituie integral funcțiunea de introducere a aerului proaspăt în spațiul ocupat prin introducerea forțată a aerului preîncălzit în spațiul ocupat. Funcțiunea de preîncălzire este preluată atât de elementul de captare a radiației solare (perete cu grosimea de 0,20 m, confecționat din beton armat), cât și de vitrajul triplu și selectiv al serei captatoare. Circulația aerului este asigurată de două ventilatoare care asigură un debit de aer constant, corespunzător asigurării ratei de ventilare de 0,6 sch / h, proprie clădirii de locuit, corect alimentată cu aer proaspăt. Aerul preluat în totalitate din exterior, cu temperatura $t_e(\tau)$, străbate în înălțime spațiul serei captatoare și este introdus în spațiul locuit cu temperatura $t_{ss}(\tau) > t_e(\tau)$. Practic spațiul solar preia o parte din cantitatea de căldură care trebuie să fie furnizată aerului proaspăt pentru a fi adus la temperatura de confort a aerului interior, $t_a(\tau)$, dar în multe ore din sezonul rece asigură și parțial sau integral încălzirea spațiului înlocuind sursa convențională de încălzire. Experimentul de lungă durată (începând din anul 2005) relevă funcția importantă a spațiului solar la reducerea necesarului de căldură (cca. 30 %), corelată cu gradul ridicat de protecție termică a clădirii. Spațiul solar devine astfel o componentă activ-pasivă (mixtă) de utilizare eficientă a radiației solare în scop dublu de ventilare, dar și de reducere a consumului de căldură / frig al clădirii.

Din punct de vedere al cuantificării răspunsului termic al spațiului solar prezintă interes cunoașterea variației temperaturii aerului preîncălzit / cald introdus în spațiul ocupat, fluxul termic caracteristic suprafeței interioare a elementului captator, precum și reducerea consumului energetic al clădirii pe durate lungi (săptămână, lună, sezon) din sezonul rece. Acești parametri permit dimensionarea corectă și

emphasize that the solar space provides to a significant rate the hot water demand in the hot season by simply fixing a collecting area in the collecting wall zone.

The measurement chain that is used includes three data acquisition systems: one for monitoring the solar space operation and the thermodynamic parameters specific to the heated space, the second for monitoring the indoor heating system operational parameters and the third for measuring the relevant climatic parameters. The measurements performed in the INCERC experimental house allow the acquisition of the following values:

Monitoring system – solar space:

- $t_e(\tau)$ – outdoor air temperature [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a1}(\tau)$ – indoor temperature of the air in the living room (dining room) [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a2}(\tau)$ – indoor temperature of the air in the SW bedroom [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a3}(\tau)$ – indoor temperature of the air in the kitchen [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{VENT}1}(\tau)$ – temperature of the air flown in the dwelling space by ventilator 1 – SW bedroom [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{VENT}2}(\tau)$ – temperature of the air flown in the dwelling space by ventilator 2 – living room [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-0,5}(\tau)$ – solar space air temperature – zone 1 – $h = 0.5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-1,5}(\tau)$ – solar space air temperature – zone 1 – $h = 1.5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-3,0}(\tau)$ – solar space air temperature – zone 1 – $h = 3.0$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}2-1,0}(\tau)$ – solar space air temperature – zone 2 – $h = 1.0$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}2-2,5}(\tau)$ – solar space air temperature – zone 2 – $h = 2.5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{PA}(0)-i}(\tau)$ – temperature of the inside surface of the wall facing the solar space – level 0.00 m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{PA}(0,15)}(\tau)$ – inside temperature of the wall facing the solar space – level 0.15m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],

eficiență economică a sistemului spațiu solar. Subliniem faptul că spațiul solar asigură într-o proporție semnificativă necesarul de apă caldă în sezonul cald prin simpla amplasare a unei suprafețe captatoare în zona peretelui captator.

Lațul de măsurare utilizat se compune din trei sisteme de achiziție a datelor: primul pentru monitorizarea funcționării spațiului solar și a parametrilor termodinamici caracteristici spațiului încălzit, cel de-al doilea pentru monitorizarea parametrilor funcționali ai instalației de încălzire interioară, iar cel de-al treilea pentru măsurarea parametrilor climatici relevanți. Măsurările efectuate în casa experimentală INCERC permit achiziționarea următoarelor valori:

Sistem de monitorizare – spațiu solar:

- $t_e(\tau)$ – temperatura aerului exterior [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a1}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din camera de zi (sufragerie) [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a2}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din dormitor SV [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a3}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului bucătărie [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{VENT}1}(\tau)$ – temperatura aerului introdus în spațiul locuit prin ventilatorul 1 – dormitor SV [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{VENT}2}(\tau)$ – temperatura aerului introdus în spațiul locuit prin ventilatorul 2 – sufragerie [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-0,5}(\tau)$ – temperatura aerului din spațiul solar – zona 1 – $h = 0,5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-1,5}(\tau)$ – temperatura aerului din spațiul solar – zona 1 – $h = 1,5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}1-3,0}(\tau)$ – temperatura aerului din spațiul solar – zona 1 – $h = 3,0$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}2-1,0}(\tau)$ – temperatura aerului din spațiul solar – zona 2 – $h = 1,0$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{a\text{S}2-2,5}(\tau)$ – temperatura aerului din spațiul solar – zona 2 – $h = 2,5$ m [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{PA}(0)-i}(\tau)$ – temperatura suprafeței interioare a peretelui către spațiul solar [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{PA}(0,15)}(\tau)$ – temperatura interioară a peretelui către spațiul solar – cota 0,15 m de la interior [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{\text{PA}(0,30)}(\tau)$ – temperatura interioară a peretelui către spațiul solar – cota 0,30 m de la interior [$^{\circ}\text{C}$],

- $t_{PA(0,30)}(\tau)$ – inside temperature of the wall facing the solar space – level 0.30 m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{PA(0,36)}(\tau)$ – inside temperature of the wall facing the solar space – level 0.36 m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{PA(0,46)}(\tau)$ – inside temperature of the wall facing the solar space – level 0.46 m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{PA(0,56)-e}(\tau)$ – temperature of the outside surface of the wall facing the solar space – level 0.56 m from the inside [$^{\circ}\text{C}$],
- $q_{ST}(\tau)$ – thermal flow at the level of the inside surface of the wall facing the solar space [W / m^2].

The diagram in Fig. 1 presents the variation of the daily average outdoor temperature, t_e , of the temperature of the fresh air pre-heated in the ventilated solar space greenhouse, t_{mVEMP} and of the daily heat consumption in the period September 2008 – March 2009. The sensitive effect of the solar space and its impact on the heat consumption is clearly noticed. The diagrams in Fig. 2 and 3 present as examples two operational details, namely the days of 05.01.2009 and 12.01.2009 which clearly show the pre-heating of the fresh air flown in on the sunny days when the daily average temperature is $-3,5 \dots -5^{\circ}\text{C}$ and that of the fresh air is $6 \dots 8^{\circ}\text{C}$, with hourly values up to 20°C .

The diagram in Fig. 4 presents the sunlight rate variation of the collecting wall belonging to the solar space, during the whole year.

3. DETAILED HOURLY STEP MATHEMATICAL MODEL

In the phase of a new building designing, the mathematical modeling of the heat transfer processes, at an hourly pace requires to simulate the thermal response of the solar space in the cold season. The monthly pace modeling, the same as in the case of space heating, proves to be a non-recommended procedure because of the significant variation, during the daytime cycle, of the virtual outdoor temperature specific to the outdoor environment adjoining the solar space.

- $t_{PA(0,36)}(\tau)$ – temperatura interioară a peretelui către spațiul solar – cota 0,36 m de la interior [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{PA(0,46)}(\tau)$ – temperatura interioară a peretelui către spațiul solar – cota 0,46 m de la interior [$^{\circ}\text{C}$],
- $t_{PA(0,56)-e}(\tau)$ – temperatura suprafeței exterioare a peretelui către spațiul solar – cota 0,56 m de la interior [$^{\circ}\text{C}$],
- $q_{ST}(\tau)$ – flux termic la nivelul suprafeței interioare a peretelui către spațiul solar [W/m^2].

În graficul din fig. 1 se prezintă variația valorilor medii zilnice ale temperaturii exterioare, t_e , ale temperaturii aerului proaspăt preîncălzit în sera spațiului solar ventilat, t_{mVEMP} , precum și ale consumului zilnic de căldură în intervalul septembrie 2008 – martie 2009. Se constată efectul sensibil al spațiului solar și impactul asupra consumului de căldură. În graficele din fig. 2 și 3 se prezintă, cu titlu de exemplu, două detalii funcționale respectiv zilele de 05.01.2009 și 12.01.2009 din care se observă clar preîncălzirea aerului proaspăt introdus zile însorite în care temperatura medie zilnică are valoarea de $-3,5 \dots -5^{\circ}\text{C}$ iar cea a aerului proaspăt de $6 \dots 8^{\circ}\text{C}$, cu valori orare de până la 20°C .

În graficul din fig. 4 se prezintă variația gradului de însorire al peretelui captator din compunerea spațiului solar, pe durata anului.

3. MODELUL MATEMATIC CU PAS ORAR

Modelarea dinamică a proceselor de transfer de căldură, cu pas orar, implică, în faza proiectării unei clădiri noi, simularea răspunsului termic al spațiului solar în sezonul rece. Modelarea cu pas lunar, ca și în cazul răcirii spațiilor, se dovedește a fi o procedură neindicată ca urmare a variației semnificative, pe ciclul diurn, a temperaturii exterioare virtuale, proprie mediului exterior adiacent spațiului solar.

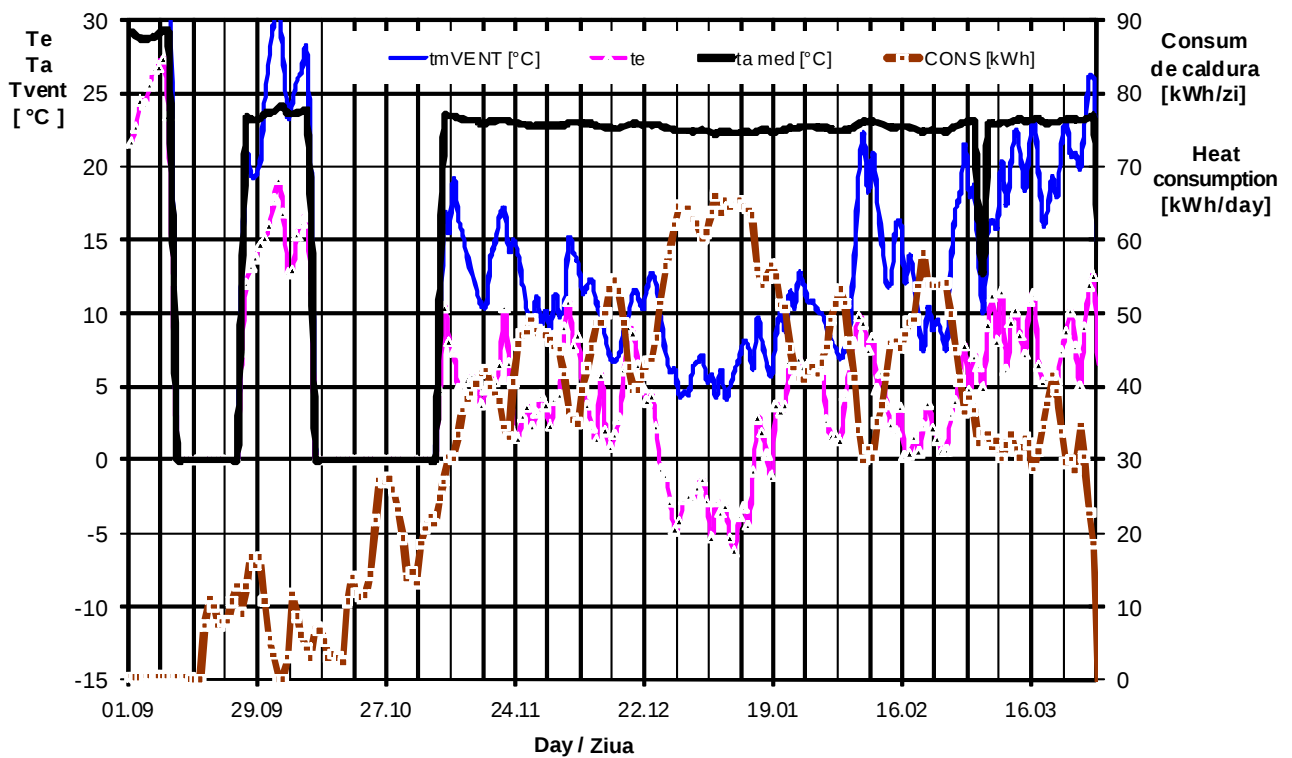


Fig. 1. Data recorded in the 2008-2009 cold season in the CE INCERC Bucharest experimental building
(Date înregistrate în sezonul rece 2008-2009 în clădirea experimentală CE INCERC București)

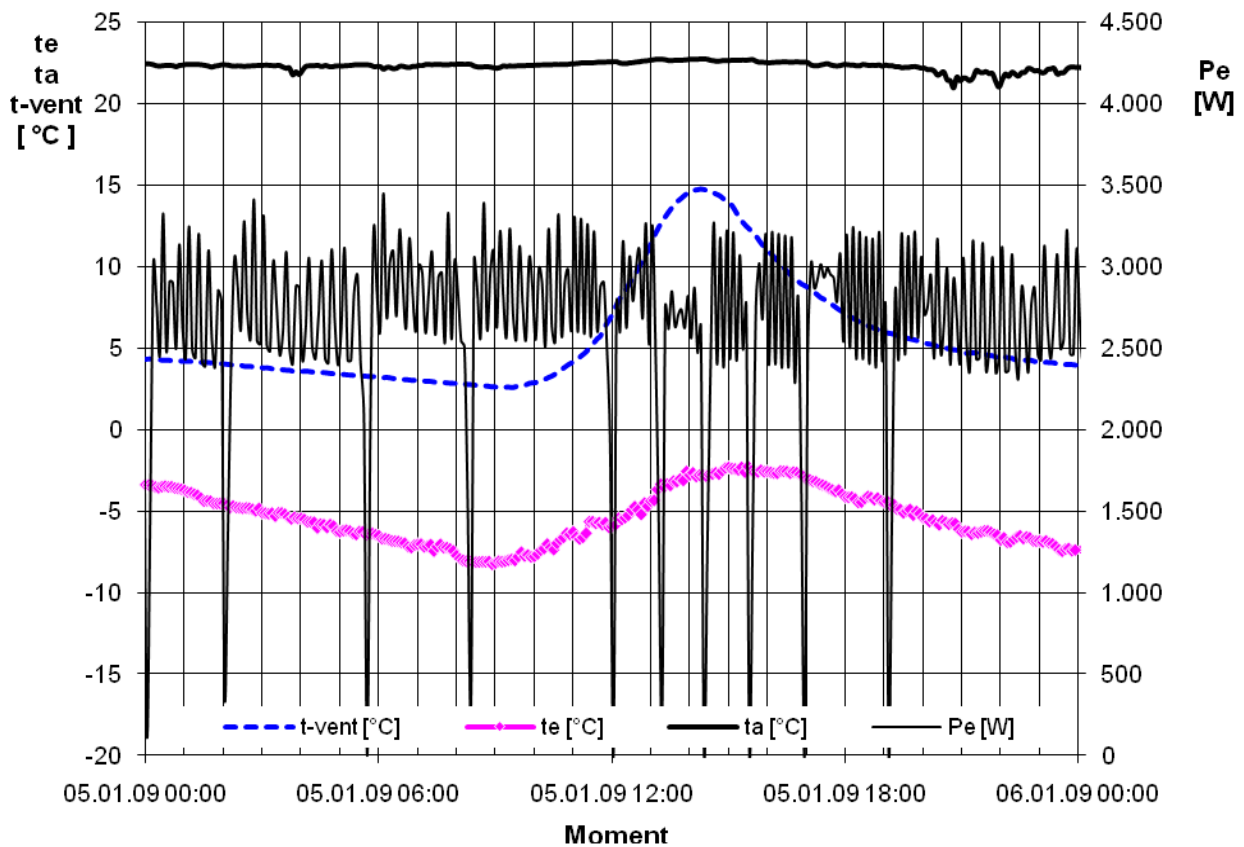


Fig. 2. Operation of the ventilated solar space on 05.01.2009 – CE INCERC Bucharest experimental building
(Funcționarea spațiului solar ventilat în ziua de 05.01.2009 – clădirea experimentală CE INCERC București)

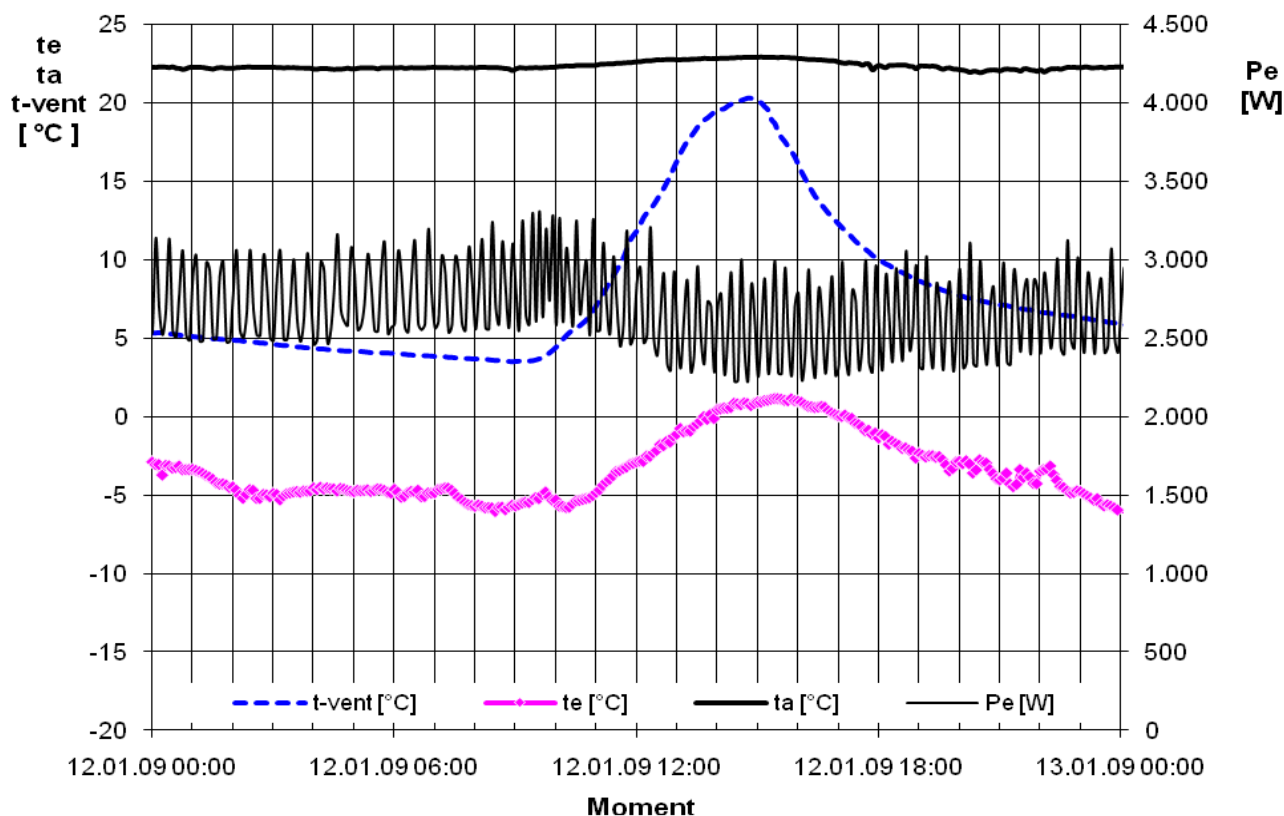


Fig. 3. Operation of the ventilated solar space on 12.01.2009 – CE INCERC Bucharest experimental building (Funcționarea spațiului solar ventilat în ziua de 12.01.2009 – clădirea experimentală CE INCERC București)

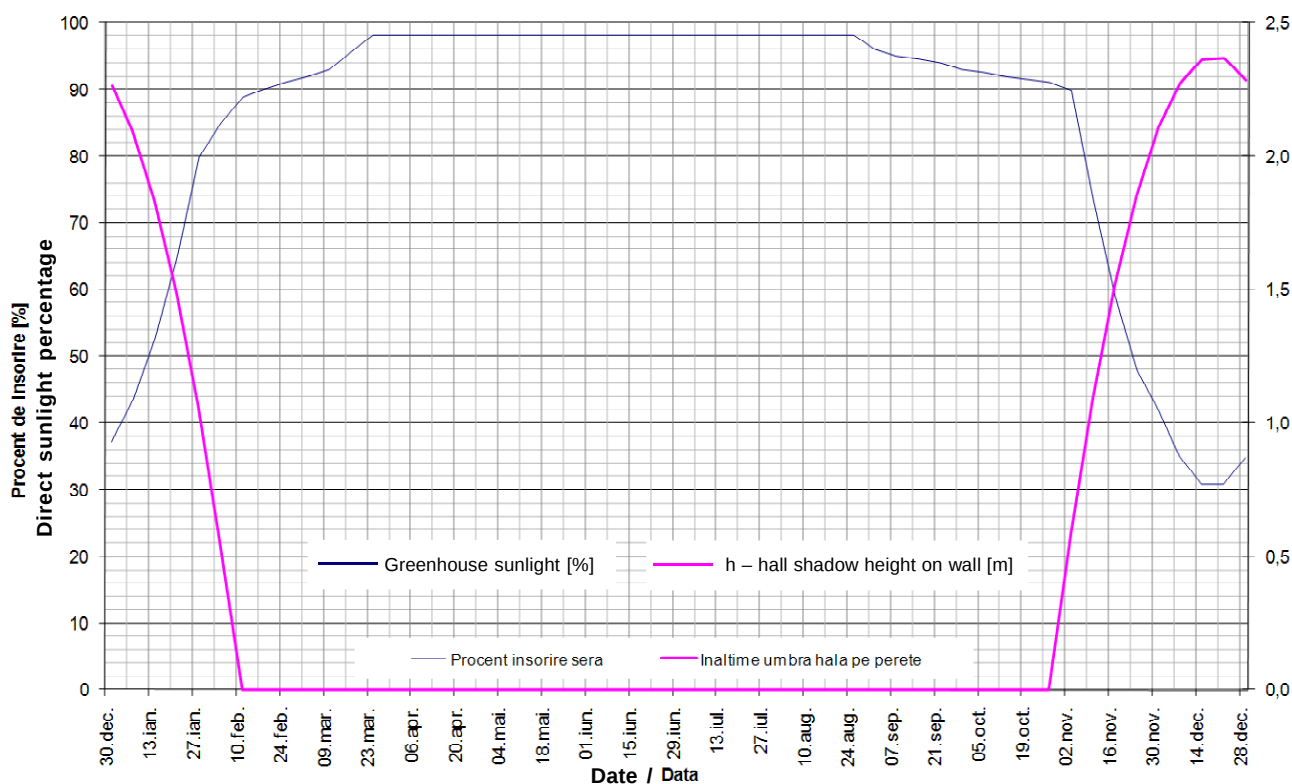


Fig. 4. Direct sunlight coefficient of the collecting wall of the solar space attached to the CE INCERC Bucharest experimental building (Gradul de însorire al peretelui captator al spațiului solar atașat clădirii experimentale CE INCERC București)

The variation of the temperature range significant for the solar space reveals the following functions which benefit from the main simplifying calculation hypotheses:

- $t(x, y, \tau)$ – air temperature in the collecting hall, where the coordinates x and y mean the height and the depth of the greenhouse respectively. The greenhouse span may be considered as not generating disturbances of the air temperature range as long as the outdoor air inlet is rather uniform and not punctual;
- $\vartheta(x, \tau)$ – temperature inside the collecting wall which may be considered one-dimensional because of the thermal conductivity of the material used for the collecting component, namely reinforced concrete, the value of which is $\lambda = 1.74 \text{ W /m} \cdot \text{K}$.

We previously detailed the main simplifying hypotheses substantiating the mathematical model. As concerns the greenhouse air temperature, its variation in the greenhouse depth is not significant because of the heat transfer concentration in the boundary layer zone neighboring the two boundaries: the collecting wall and the glazing. Therefore, the proper simulation model is the one specific to the control volume developed in the greenhouse depth, characterized by the air average temperature of level y . As concerns the thermally significant boundary, the solar radiation collecting wall, the most proper model is that of the temperature uniform on the surface with reference to the temperature distribution on the height. We emphasize that this hypothesis is supported by the rather low intensity of the heat transfer between the area absorbing the solar radiation to air and to the glazed area.

Taking into account the elements describes above, it results that the simulation model consists in the following thermal balance equations:

- the equation of the one-dimensional heat transfer by conduction through the collecting wall, with solution $\vartheta(x, \tau)$:
 - the equation is solved in terms of the singleness conditions, namely the initial condition $\vartheta(x, \tau = 0)$ which will be represented by a

Variația câmpului de temperaturi semnificative la nivelul spațiului solar relevă următoarele funcții, care generează principalele ipoteze de calcul:

- $t(x, y, \tau)$ – temperatura aerului din sera captatoare, în care coordonatele x și y , semnifică înălțimea, respectiv adâncimea serei. Deschiderea serei se poate considera ca neproducând perturbații ale câmpului de temperaturi ale aerului atât timp cât introducerea aerului exterior se realizează relativ uniform și nu punctual;
- $\vartheta(x, \tau)$ – temperatura în interiorul peretelui captator care se poate considera de tip unidimensional ca urmare a conductivității termice a materialului din care este confecționat elementul de captare, respectiv betonul armat cu valoarea $\lambda = 1,74 \text{ W /m} \cdot \text{K}$.

Cele de mai sus reprezintă principalele ipoteze simplificatoare pe care se bazează modelul matematic. În ceea ce privește temperatura aerului din seră, variația sa pe adâncimea serei nu este semnificativă ca urmare a concentrării transferului de căldură în zona stratului limită din vecinătatea celor două frontiere: peretele captator, respectiv vitrajul. În consecință modelul de simulare adecvat este cel propriu volumului de control dezvoltat pe adâncimea serei, caracterizat de temperatura medie a aerului în raport cu cota y . În ceea ce privește frontiera semnificativă din punct de vedere termic, peretele captator al radiației solare, modelul cel mai adecvat este cel al temperaturii uniforme pe suprafață, cu referire la distribuția temperaturilor pe înălțime. Subliniem faptul că această ipoteză este susținută de intensitatea relativ redusă a transferului de căldură dintre suprafața absorbantă a radiației solare către aer și către suprafața vitrată.

Având în vedere cele de mai sus rezultă că modelul de simulare constă în următoarele ecuații de bilanț termic:

- ecuația de transfer de căldură unidimensional prin conducție prin peretele captator cu soluția $\vartheta(x, \tau)$:
 - ecuația se rezolvă în raport cu condițiile de unicitate, respectiv condiția inițială $\vartheta(x, \tau = 0)$ care va fi reprezentată de o valoare

random value ϑ_0 , taking into account the ergodicity characteristic of the heat parabolic equation as well as the boundary conditions expressing the thermal flow continuity at the boundaries of the collecting component, expressed by the III-rd rank boundary condition;

- the equation of the greenhouse air global thermal balance on the control volume determined by the greenhouse depth, height and span, with solution $t(\tau)$;

- the glazed area thermal balance equation, with solution $\vartheta_v(\tau)$.

Fig. 5 presents the calculation concept.

arbitrară ϑ_0 , dată fiind proprietatea de ergodicitate a ecuației parabolice a căldurii, și condițiile la limită care exprimă continuitatea fluxului termic la frontierele elementului de captare exprimată prin condiția la limită de speța a III-a;

- ecuația de bilanț termic global al aerului din seră pe volumul de control desemnat de adâncimea, înălțimea și deschiderea serei, cu soluția $t(\tau)$;

- ecuația de bilanț termic a suprafeței vitrate cu soluția $\vartheta_v(\tau)$.

În fig. 5 se prezintă schema de calcul.

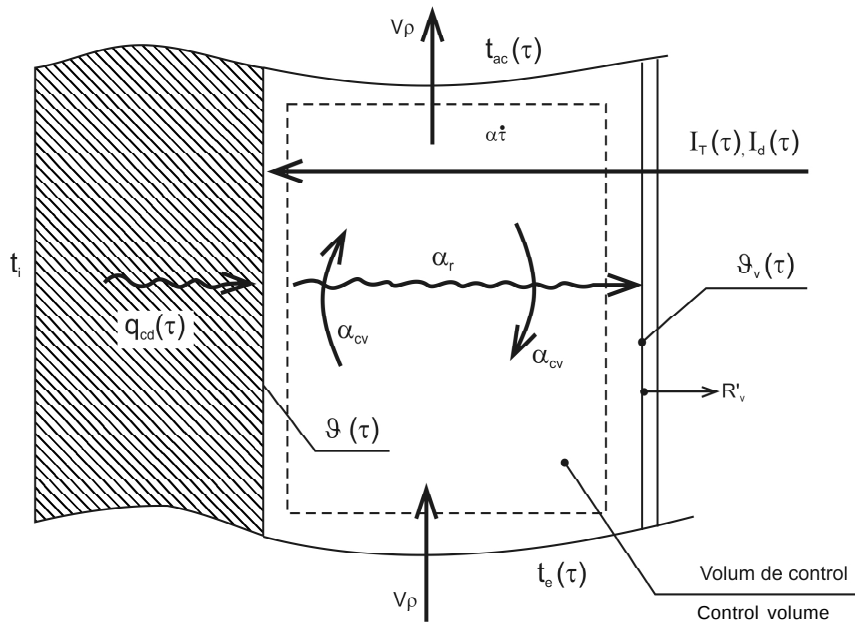


Fig. 5. Ventilated solar space calculation concept

(Schema de calcul al spațiului solar ventilat)

a. Greenhouse air thermal balance equation:

$$G \cdot c_{pa} \cdot t_e(\tau) + \alpha_{cv} S \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t(\tau)] = G \cdot c_{pa} \cdot t(\tau) + \alpha_{cv} S \cdot [t(\tau) - t_v(\tau)] \quad (1)$$

Equation (1) is expressed according to the hypothesis of the air incompressibility and overlooking the inner energy of the air in the control volume. Level x refers to the collecting wall thickness.

b. Glazing thermal balance equation

$$\alpha_r \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_v(\tau)] \cdot S_p + \alpha_{cv} \cdot [t(\tau) - t_v(\tau)] \cdot S_v = [t_v(\tau) - t_e(\tau)] \cdot R'_v \cdot S_v \quad (2)$$

which provides the expression of the air average temperature $t(\tau)$ according to the temperatures of

a. Ecuația de bilanț termic al aerului din seră:

Ecuația (1) este scrisă în ipoteza simplificatoare a incompresibilității aerului și a neglijării variației energiei interne a aerului din volumul de control. Cota x se referă la grosimea peretelui captator.

b. Ecuația de bilanț termic al vitrajului

din care rezultă expresia temperaturii medii a aerului $t(\tau)$ în funcție de temperaturile conturului

the control volume thermodynamic outline and to the outdoor temperature:

$$t(\tau) = A_1 \vartheta_p(x = \Delta, \tau) + A_2 t_v(\tau) + A_3 t_e(\tau) \quad (3)$$

Relation (3) introduced in the balance equation (1) allows us to define the greenhouse glazing surface temperature:

$$t_v(\tau) = B_1 \vartheta_p(x = \Delta, \tau) + B_2 t_e(\tau) \quad (4)$$

Equations (3) and (4) are processed and generate as follows:

$$t(\tau) = C_1 \vartheta_p(x = \Delta, \tau) + C_2 t_e(\tau) \quad (5)$$

c. The III-rd order boundary condition at level $x = \Delta$ of the collecting wall generates the following thermal balance equation:

$$\begin{aligned} -\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=\Delta} \cdot S_p + (\alpha \#) \cdot [c_s I_T(\tau) + (1 - c_s) \cdot I_d(\tau)] \cdot S_v = \alpha_{cv} S_p \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t(\tau)] + \\ + \alpha_r S_p \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_v(\tau)] \end{aligned} \quad (6)$$

$\frac{S_v}{S_p} = \beta$ is marked.

Se notează $\frac{S_v}{S_p} = \beta$.

The processing of equation (6) generates the following relation:

$$-\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta_p(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=\Delta} = [\alpha_{cv} \cdot (1 - C_1) + \alpha_r \cdot (1 - B_1)] \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_{Es}(\tau)] \quad (7)$$

where the equivalent outdoor temperature has the following expression:

în care temperatura exterioră echivalentă are expresia:

$$t_{Es}(\tau) = \frac{\alpha_{cv} C_2 + \alpha_r B_2}{\alpha_{cv} \cdot (1 - C_1) + \alpha_r \cdot (1 - B_1)} \cdot \left[\frac{\alpha \# \beta}{\alpha_{cv} C_2 + \alpha_r B_2} \cdot I(\tau) + t_e(\tau) \right] \quad (8)$$

where:

cu:

$$I(\tau) = c_s I_t(\tau) + (1 - c_s) \cdot I_d(\tau)$$

where coefficient c_s was used according to the diagram in fig. 4.

în care coeficientul c_s s-a utilizat conform fig. 4.

Relation (7) represents the III-rd rank boundary condition at level $x = \Delta$.

Relația (7) reprezintă condiția la limită de speța a III-a la cota $x = \Delta$.

d. The III-rd order boundary condition at level $x = 0$ is expressed by the following relation:

d. Condiția la limită de speța a III-a la cota la cota $x = 0$ se exprimă prin relația:

$$-\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta_p(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_i \cdot [t_i(\tau) - \vartheta_p(x = 0, \tau)] \quad (9)$$

The following notations are used:

Cu notațiile:

$$\alpha_e = \alpha_{cv} \cdot (1 - C_1) + \alpha_r \cdot (1 - B_1); \quad \alpha_i^{-1} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_m \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_m \quad (10)$$

where m – indicator for the layers forming the solar radiation collecting unit, characterized by a low thermal capacity, others than the reinforced concrete collecting wall (the structural component made of BCA – autoclaved lightweight concrete – plus the thermal insulation layer); the two boundary conditions become as follows:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta_p(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_i \cdot [t_i(\tau) - \vartheta_p(x=0, \tau)] \\ -\lambda \cdot \frac{\partial \vartheta_p(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=\Delta} = \alpha_e \cdot [\vartheta_p(x=\Delta, \tau) - t_{Es}(\tau)] \end{array} \right. \quad (9)$$

and are associated to the heat parabolic equation with reference to the collecting wall structure.

An acceptable solution of the problem of the heat transfer through the solar radiation collecting unit may be provided by the heat conduction integral equation [2]. The heat transfer intensity at level $x=0$ (adjoining the occupied space) is determined by the following relation:

$$q_i(x=0, \tau) = q_i(\tau=0) \cdot \exp(M_1\tau) + \frac{N_1}{M_1} \cdot [\exp(M_1\tau) - 1] + \frac{N_2}{M_2} \cdot [\exp(M_1\tau) - (1 + M_1\tau)] \quad (12)$$

The expression of the collecting wall temperature at level $x=\Delta$, $\vartheta_p(x=\Delta, \tau)$ is determined by the following relation:

$$\vartheta_p(\xi=1, \tau) = \frac{1 + Bi_e \cdot (1 + Bi_i^{-1})}{n + Bi_e} \cdot Rq_i(\tau) - \frac{Bi_e}{n + Bi_e} \cdot [t_i(\tau) - t_{Es}(\tau)] - Rq_i(\tau) \cdot (1 + Bi_i^{-1}) \quad (13)$$

where $\xi = \frac{x}{\Delta}$.

The collecting unit thickness Δ as well as the thermal diffusivity a are determined by the procedure of generating the equivalent homogeneous structure [1]. The following notations were used:

în care m este indice pentru straturile din componența elementului de captare a radiației solare caracterizate de capacitate termică redusă, altele decât peretele captator confecționat din beton armat (elementul structural confecționat din BCA la care se adaugă stratul de izolație termică); cele două condiții la limită devin:

și se asociază ecuației parabolice a căldurii cu referire la structura peretelui captator.

O rezolvare acceptabilă a problemei transferului căldurii prin elementul de captare a radiației solare se poate obține utilizând ecuația integrală a căldurii [2]. Intensitatea transferului de căldură la cota $x=0$ (adiacentă spațiului ocupat) se determină cu relația:

Expresia temperaturii peretelui captator la cota $x=\Delta$, $\vartheta_p(x=\Delta, \tau)$ se determină cu relația:

în care $\xi = \frac{x}{\Delta}$.

Grosimea Δ a elementului de captare, precum și difuzivitatea termică a se determină prin procedura de generare a structurii omogene echivalente [1].

S-au utilizat notațiile:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = \frac{\frac{a}{\Delta^2} \cdot \frac{n \cdot [1 + Bi_e(1 + Bi_i^{-1})]}{n + Bi_e}}{\text{Num}}; \quad M_2 = \frac{Bi_e}{(1+n)(n + Bi_e)} \\ M_3 = \frac{\frac{a}{\Delta^2} \cdot \frac{n \cdot Bi_e}{n + Bi_e}}{\text{Num}}; \quad \text{Num} = \frac{1 + Bi_e \cdot (1 + Bi_i^{-1})}{(1+n)(n + Bi_e)} - 0,50 - Bi_i^{-1} \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\begin{cases} N_1 = - \left[M_2 \cdot \frac{t_{E_j} - t_{E_{j-1}}}{\Delta\tau} + M_3 \cdot (t_{i_0} - t_{E_{j-1}}) \right] \\ N_2 = M_3 \cdot \frac{t_{E_j} - t_{E_{j-1}}}{\Delta\tau} \end{cases} \quad (15)$$

Relations (12) and (13) can be used by means of the recurrence procedure in finite (hourly) time-lags, $\Delta\tau$. Identifier j defines the current calculation interval and $j - 1$, the previous interval modified by $\Delta\tau$.

The average temperature of the control volume air is determined by relation (5) according to value $\vartheta_p(x = \Delta, \tau)$, determined by relation (13) and by the outdoor temperature $t_e(\tau)$. The air temperature variation along the control volume height (of the collecting greenhouse) may be expressed by the following relation:

$$t(y, \tau) = t_e(\tau) + [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_e(\tau)] \cdot [1 - \exp(-ay)] \quad (16)$$

The expression of the greenhouse height average temperature, $t(\tau)$ allows the identification of coefficient a :

$$\frac{t(\tau) - t_e(\tau)}{\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_e(\tau)} = 1 - \frac{1 - \exp(-aH)}{aH} \quad (17)$$

where $t(\tau)$ is determined at each moment τ by relation (5).

The consistency condition of this method is that value $a = \text{ct.}$ at any τ moment.

Thus is determined the temperature value of the air exhausted in the occupied space at each moment τ :

$$t_{as-t}(\tau) = t(y = H, \tau) = t_e(\tau) + aH \cdot [\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t(\tau)] \quad (18)$$

Another item used in identifying the verifying the consistency of solution (12) of the heat integral equation is the value of the numerical coefficient n of the spline function which represents the temperature variation in the collecting wall thickness, $\vartheta(x, \tau)$. Its values should be constant and independent of moment τ . Values a and n are experimentally determined by the procedure of validating the mathematical model presented, particularized for the constructive solution of the collecting greenhouse belonging to the solar space.

Relațiile (12) și (13) sunt aplicabile prin procedura de recurență pe intervale de timp finite (orare) $\Delta\tau$. Indicativul j desemnează intervalul de calcul curent, iar $j - 1$ intervalul anterior decalat cu $\Delta\tau$.

Temperatura medie a aerului din volumul de control se determină cu relația (5), în funcție de valoarea $\vartheta_p(x = \Delta, \tau)$, determinată cu relația (13), și de temperatura exterioară $t_e(\tau)$. Variația temperaturii aerului pe înălțimea volumului de control (a serei captatoare) se poate exprima prin relația:

Expresia temperaturii medii pe înălțimea serei, $t(\tau)$, permite identificarea coeficientului a :

în care $t(\tau)$ se determină la fiecare moment τ cu relația (5).

Condiția de consistență a metodei este ca valoarea $a = \text{ct.}$ la orice moment τ .

Cu aceasta se determină valoarea temperaturii aerului refulat în spațiul ocupat, la fiecare moment τ :

Un alt element de identificare și de consistență a soluției (12) a ecuației integrale a căldurii îl reprezintă coeficientul numeric n al funcției spline care reprezintă variația temperaturii în grosimea peretelui captator, $\vartheta(x, \tau)$. Valoarea acestuia trebuie să fie constantă și independentă de momentul τ . Determinarea valorilor a și n se face pe cale experimentală prin aplicarea procedurii de validare a modelului matematic prezentat, particularizat pentru soluția constructivă a serei captatoare din componența spațiului solar.

¹⁾ $\Phi = \frac{\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t(\tau)}{\vartheta_p(x = \Delta, \tau) - t_e(\tau)}, \Phi = \frac{1 - \exp(-aH)}{aH}$

4. EXPERIMENTAL VALIDATION OF THE MATHEMATICAL MODEL ON THE SUPPORT OF THE CE INCERC BUCHAREST SOLAR SPACE – winter 2008-2009

The experiment was performed in the 2008-2009 cold season; in this period the solar space operated and thus contributed in providing the fresh air rate to CE INCERC Bucharest.

The two ventilators supplying pre-heated fresh air in the solar space greenhouse are characterized by volume air-flows of $44.5 \text{ m}^3 / \text{h}$ and $57.6 \text{ m}^3 / \text{h}$, a total of $102.1 \text{ m}^3 / \text{h}$. Compared to the building total volume of 167.8 m^3 , this flow-rate represents 0.61 exchanges / h.

The following validation periods were selected:

- 1) 01.10.2008 – 10.10.2008 – 15 days (232 hours)
- 2) 15.11.2008 – 25.12.2008 – 41 days (976 hours)
- 3) 13.01.2009 – 04.03.2009 – 51 days (1217 hours)

a total of 107 days (2,425 hours), a significant period for the validation of the calculation method.

The validation indicators used include beside the analysis of the hourly differences between the exhausted air temperature, measured, $t_{as-m}(\tau)$ and the exhausted air temperature determined by calculation $t_{as-t}(\tau)$, (18), the differences during the above mentioned periods between the solar space energy performance determined theoretically and the calculated one:

$$Q_{vss}(\tau) = Gc_{pa} \cdot [t_{as}(\tau) - t_e(t)] \quad (19)$$

According to the elements mentioned above, a characteristic of the heat integral equation solution is represented by the determination, meaning identification, of the n exponent specific to the spline function which describes the space variant of the temperature in the opaque collecting wall thickness. The validation implies the fact that during all the support periods, the same value n should be preserved. Value n does not influence the result in terms of energy performance. The only influence is noticed on the amplitude of the oscillation of the temperature of the air exhausted from the solar space.

4. VALIDAREA EXPERIMENTALĂ A MODELULUI MATEMATIC PE SUPTUL SPAȚIULUI SOLARAL CE INCERC BUCUREȘTI – iarna 2008-2009

Experimentul s-a desfășurat în sezonul rece 2008-2009, timp în care spațiul solar a funcționat contribuind la asigurarea cotei de aer proaspăt a CE INCERC București.

Cele două ventilatoare care refulează aer proaspăt preîncălzit în sera spațiului solar sunt caracterizate de debitele volumice de $44,5 \text{ m}^3 / \text{h}$ și $57,6 \text{ m}^3 / \text{h}$, în total $102,1 \text{ m}^3 / \text{h}$. În raport cu volumul total al clădirii de $167,8 \text{ m}^3$, debitul menționat reprezintă 0,61 sch / h.

S-au selectat următoarele intervale de validare:

- 1) 01.10.2008 – 10.10.2008 – 15 zile (232 ore)
- 2) 15.11.2008 – 25.12.2008 – 41 zile (976 ore)
- 3) 13.01.2009 – 04.03.2009 – 51 zile (1217 ore)

în total 107 zile (2425 ore), interval semnificativ pentru validarea metodei de calcul.

Indicatorii de validare utilizați includ pe lângă analiza diferențelor orare dintre temperatura aerului refulat, măsurată, $t_{as-m}(\tau)$ și temperatura aerului refulat, determinată prin calcul $t_{as-t}(\tau)$, (18), diferențele pe intervalele menționate între performanța energetică a spațiului solar determinată teoretic și cea calculată:

Conform celor menționate, o particularitate a soluției ecuației integrale a căldurii este reprezentată de determinarea cu caracter de identificare a exponentului n propriu funcției spline care descrie variația spațială a temperaturii pe grosimea peretelui captator opac. Validarea presupune ca pe toate intervalele suport să se mențină aceeași valoare n . Valoarea n nu influențează rezultatul din punct de vedere al performanței energetice. Singura influență se resimte asupra amplitudinii oscilației temperaturii aerului refulat din spațiul solar.

4.1. The optimum value for the first period is $n = 0.65$. As the phenomenon is the same, the other periods should also lead, theoretically, to the same result. The diagram in Fig. 6 presents the function:

$$\frac{\sigma(t_{as}(\tau))}{\bar{t}_{as}} = f(n) \quad (20)$$

which confirms value $n = 0.65$ as the optimum value. For the period of time under analysis, equation (17) provides value $a \cdot H = 3.106$; both values have to be confirmed in the under periods of time under analysis.

4.1. Valoarea optimă aferentă primului interval este $n = 0,65$. Fenomenul fiind același și celelalte intervale de timp trebuie să conducă teoretic la același rezultat. În graficul din fig. 6 se prezintă funcția:

care atestă valoarea $n = 0,65$ ca valoare optimă. Pentru intervalul de timp analizat ecuația (17) conduce la valoarea $a_H = 3,106$, valoare care trebuie confirmată în celelalte intervale analizate.

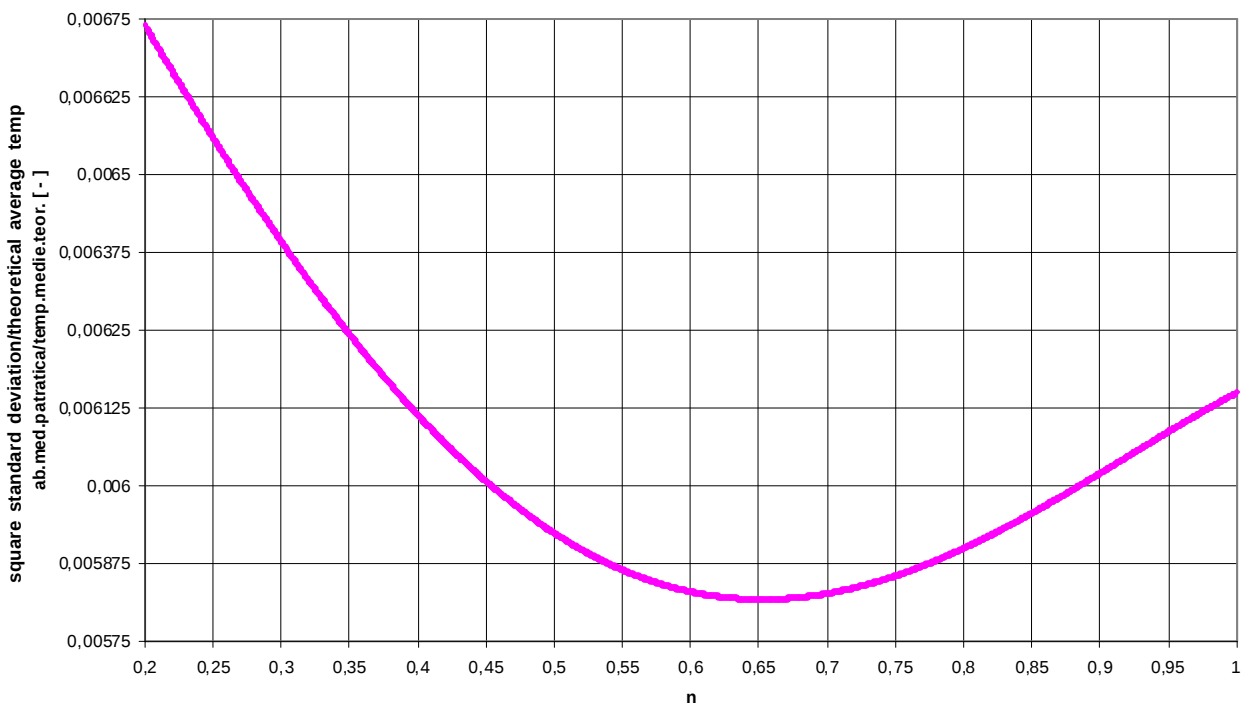


Fig. 6. Determination of exponent “n” value – period 01.10.2008 – 10.10.2008
(Determinarea valorii exponentului n – interval 01.10.2008-10.10.2008)

In terms of the Energy Performance criterion, the specific values are $3.66 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (according to the measurements) and $3.92 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (according to the theoretical model) respectively, which generates a global deviation of 7.26 % which is considered acceptable. The diagram in Fig. 7 presents the hourly variations $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$, $t_e(\tau)$ for the period of time under analysis. Values $\bar{t}_{as-t} = 28.1^\circ\text{C}$, $\bar{t}_{as-m} = 27.3^\circ\text{C}$ result from averaging.

4.2. The second time-lag, 14.11.-25.12.2008 confirms the preservation of value $a \cdot H = 3.106$ and the reaching of value $n = 0.60$. The diagram in Fig. 8 presents the variation of function $f(n)$ (20), which provides $n = 0.60$.

Din punct de vedere al criteriului Performanță Energetică valorile specifice sunt de $3,66 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (conform măsurărilor), respectiv $3,92 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (conform modelului teoretic), ceea ce generează o abatere globală de 7,26 %, pe care o considerăm acceptabilă.

În graficul din fig. 7 se prezintă variațiile orare $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$, $t_e(\tau)$ pentru intervalul analizat. Prin mediere rezultă $\bar{t}_{as-t} = 28,1^\circ\text{C}$, $\bar{t}_{as-m} = 27,3^\circ\text{C}$.

4.2. Cel de al doilea interval cuprins între 14.11.2008-25.12.2008 atestă menținerea valorii $a_H = 3,106$ și realizarea valorii $n = 0,60$. În graficul din fig. 8 se prezintă variația funcției $f(n)$ (20), din care rezultă $n = 0,60$.

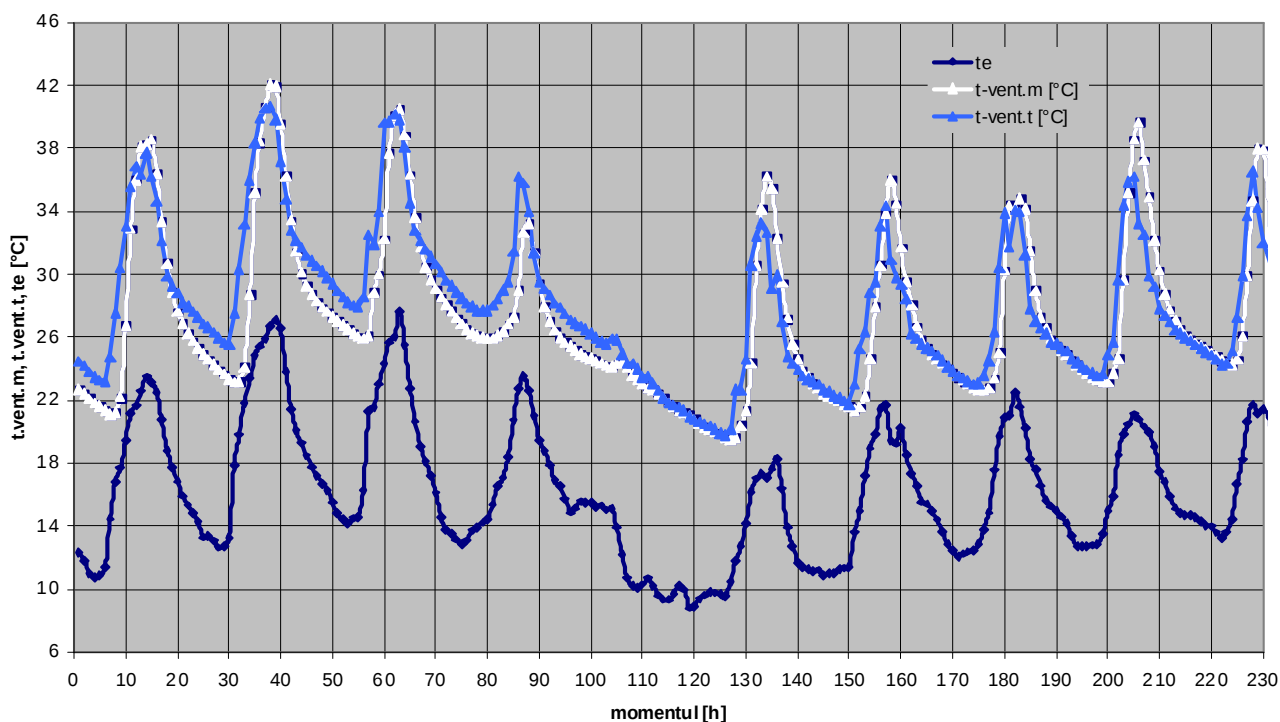


Fig. 7. Temperatures specific to the operation of the ventilated solar space – 01.10.2008-10.10.2008 (232 hours) CE INCERC Bucharest

(Temperaturi caracteristice funcționării spațiului solar ventilat – 01.10.2008-10.10.2008 (232 ore) CE INCERC București)

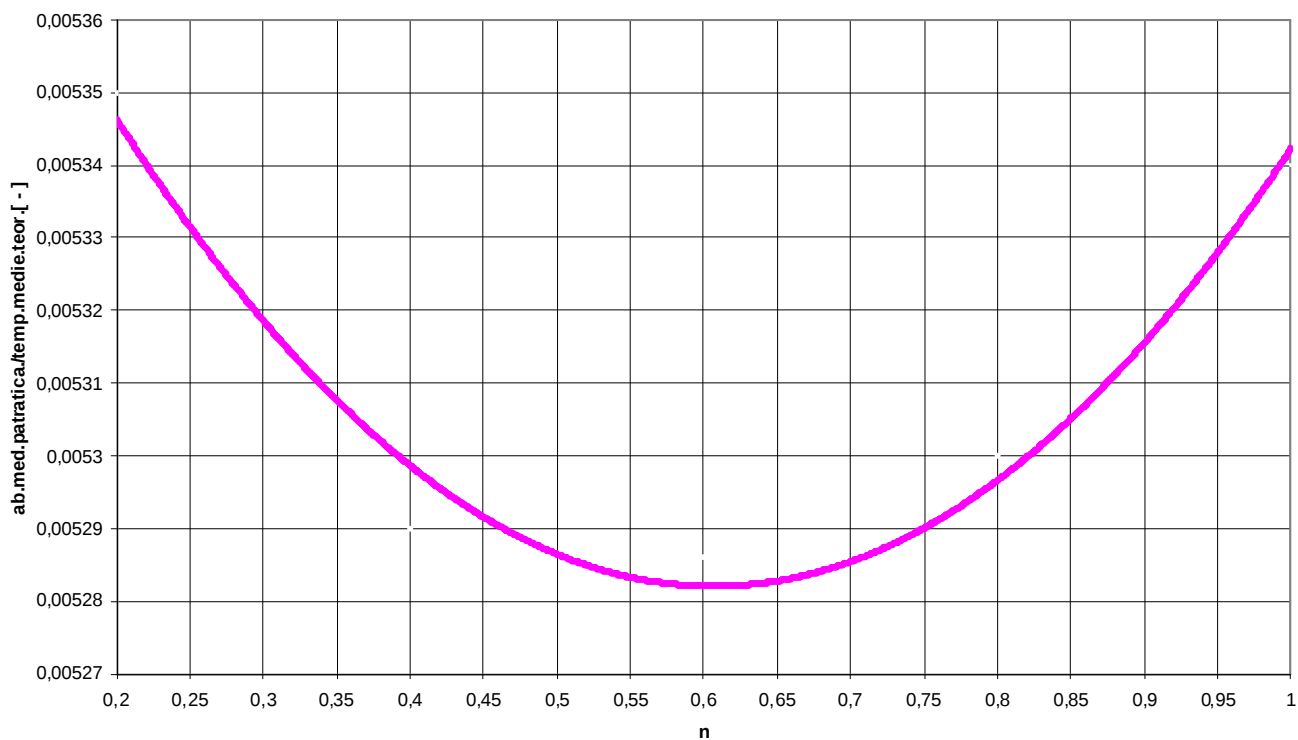


Fig. 8. Determination of exponent n value – period 15.11.2009-25.12.2008 (Determinarea valorii exponentului n – interval 15.11.2009-25.12.2008)

In terms of energy performance, the specific values are 9.53 kWh/m^2 and 9.83 kWh/m^2 respectively, which generate a global deviation in the time-lag of 3.16 %, confirming the validity of the calculation model.

The diagram in Fig. 9 presents the hourly values $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$ for the analyzed time-lag. Values $\bar{t}_{as-t} = 11.7^\circ\text{C}$, $\bar{t}_{as-m} = 11.5^\circ\text{C}$ are provided by averaging.

4.3. The third case is characterized by values $n = 0.55$, $a \cdot H = 3.106$, $\bar{q}_m = 15.26 \text{ kWh/m}^2$, $\bar{q}_t = 15.84 \text{ kWh/m}^2$, $\varepsilon = 3.63 \%$, which represent a clear validation. Values $\bar{t}_{as-t} = 12.5^\circ\text{C}$ and $\bar{t}_{as-m} = 12.2^\circ\text{C}$ also attest the very good estimation by the theoretical model.

The diagram in Fig. 10 presents $f(n)$ and the diagram in Fig. 11 values $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$, $t_e(\tau)$.

This analysis shows that the hourly calculation model used for the temperature of the air exhausted in the occupied space provides results allowing their inclusion in the calculation algorithm of the thermal response of the entire building, if the average value $n = 0.62$ is used (an average rated with the

Din punct de vedere al performanței energetice valorile specifice sunt de $9,53 \text{ kWh/m}^2$, respectiv $9,83 \text{ kWh/m}^2$, ceea ce generează o abatere globală pe interval de 3,16 % care atestă valabilitatea modelului de calcul.

În graficul din fig. 9 se prezintă valorile orare $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$ pentru intervalul analizat. Prin mediere rezultă: $\bar{t}_{as-t} = 11,7^\circ\text{C}$, $\bar{t}_{as-m} = 11,5^\circ\text{C}$.

4.3. Cel de al treilea caz se caracterizează prin valorile $n = 0,55$, $a_H = 3,106$, $\bar{q}_m = 15,26 \text{ kWh/m}^2$, $\bar{q}_t = 15,84 \text{ kWh/m}^2$, $\varepsilon = 3,63 \%$, ceea ce reprezintă o validare sigură. Valorile $\bar{t}_{as-t} = 12,5^\circ\text{C}$ și $\bar{t}_{as-m} = 12,2^\circ\text{C}$ atestă, la rândul lor, estimarea foarte bună prin modelul teoretic.

În graficul din fig. 10 se prezintă $f(n)$, iar în graficul din fig. 11 valorile $t_{as-t}(\tau)$, $t_{as-m}(\tau)$, $t_e(\tau)$.

Din analiza prezentată rezultă că modelul de calcul orar al temperaturii aerului refulat în spațiul ocupat oferă rezultate care permit includerea în algoritmul de calcul al răspunsului termic al ansamblului clădirii, cu condiția utilizării valorii medii $n = 0,62$ (medie ponderată cu duratele intervalelor

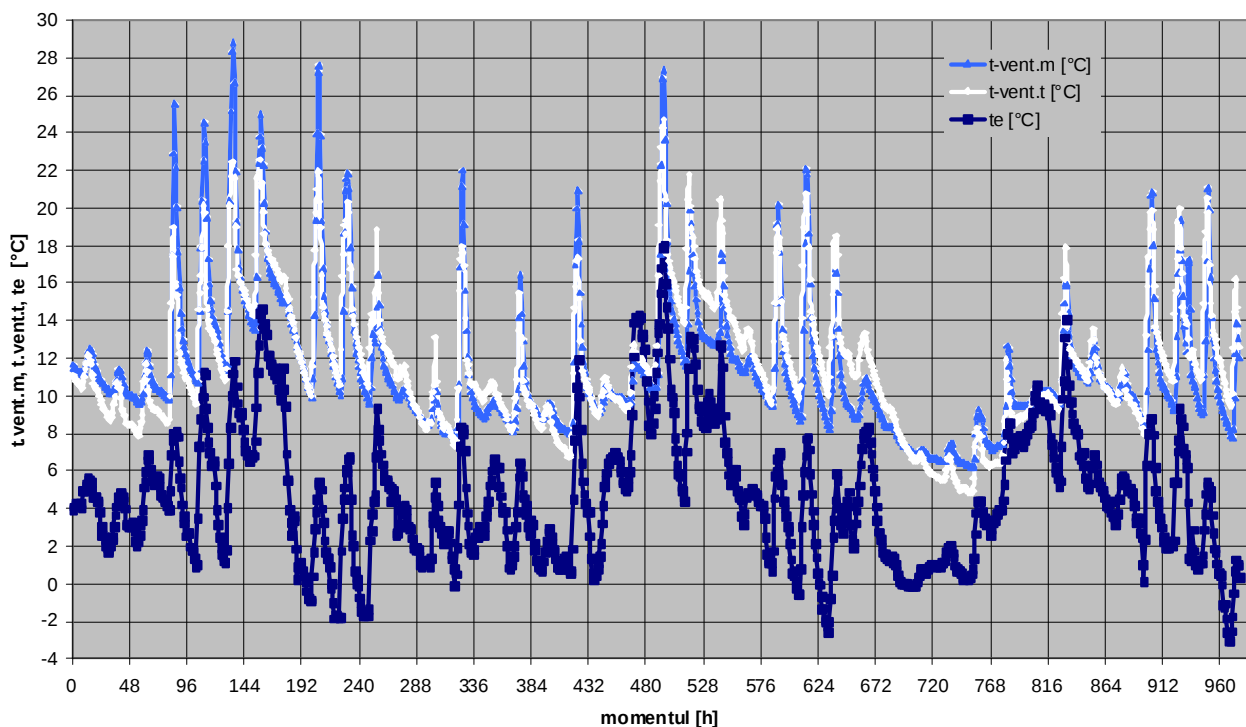


Fig. 9. Temperatures specific to the operation of the ventilated solar space – 15.11.2008-25.12.2008 (976 hours) CE INCERC Bucharest (Temperaturi caracteristice funcționării spațiului solar ventilat – 15.11.2008-25.12.2008 (976 ore) CE INCERC București)

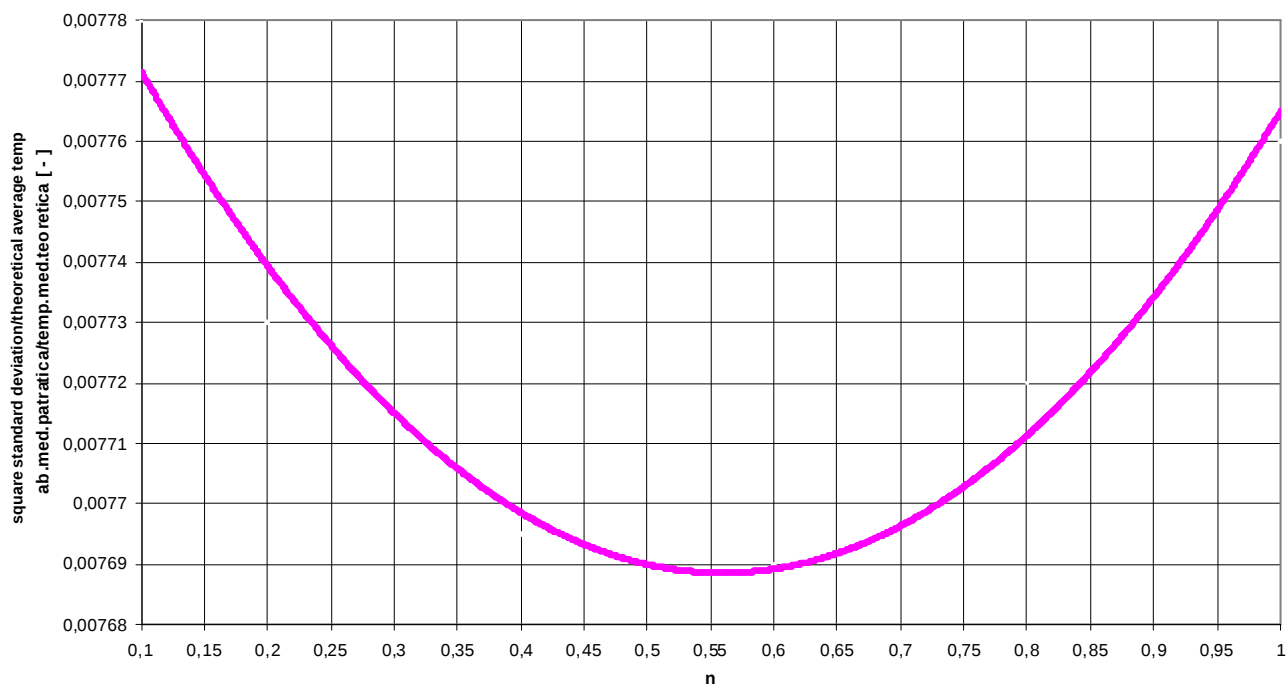


Fig. 10. Determination of n exponent values – period 13.01.2009-04.03.2009
(Determinarea valorii exponentului n – interval 13.01.2009-04.03.2009)

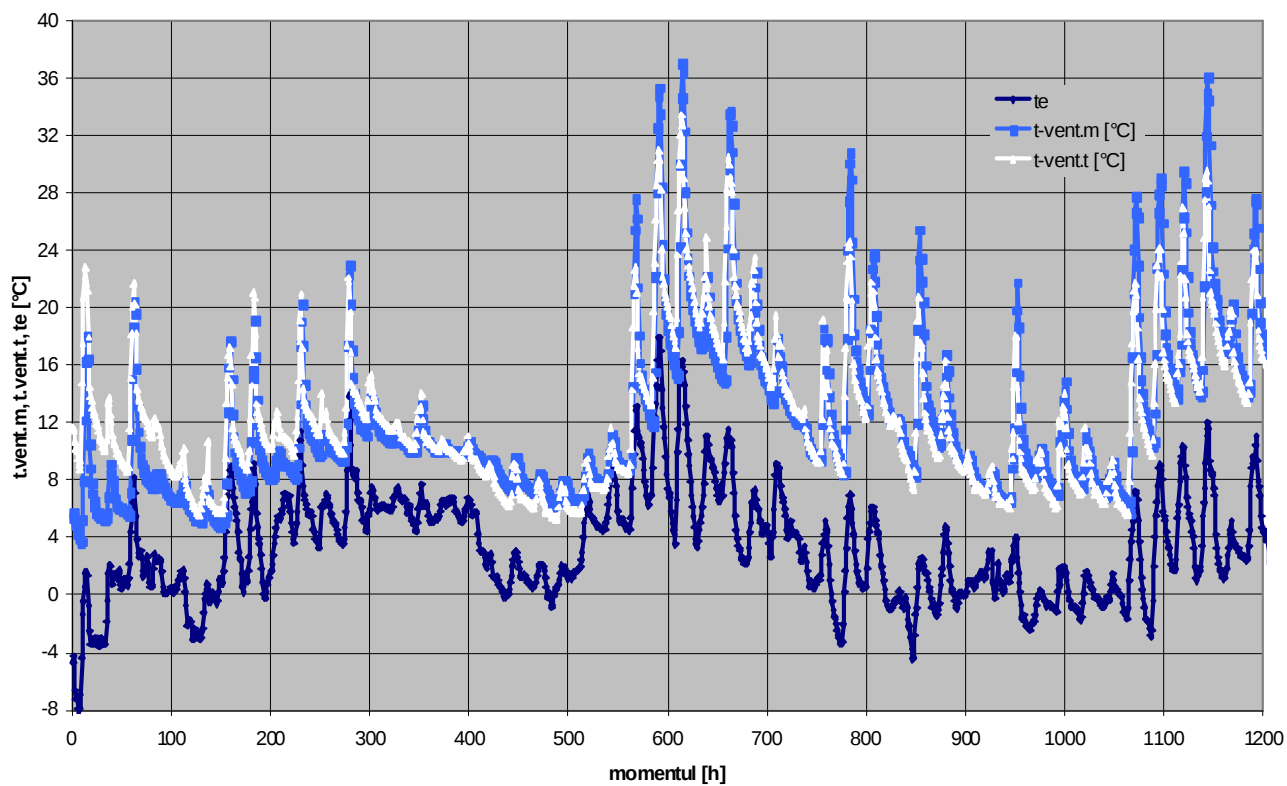


Fig. 11. Temperatures specific to the operation of the ventilated solar space –
13.01.2009-04.03.2009 (1217 hours), CE INCERC Bucharest
(Temperaturi caracteristice funcționării spațiului solar ventilat –
13.01.2009-04.03.2009 (1217 ore), CE INCERC București)

measurements durations) as well as the direct sunlight coefficients resulted from the analysis of the sunlight coefficient of the solar radiation collecting surface – natural and artificial obstacles – and from the glazing rate of the collecting greenhouse front surface.

de măsurare) și a coeficienților de însorire rezultați din analiza însoririi suprafeței captatoare a radiației solare – obstacole naturale și artificiale – și din raportul de vitrare al suprafeței frontale a serei captatoare.

5. METHODOLOGICAL SYNTHESIS

It requires considering the solar radiation collecting unit as a homogeneous flat plate with material geometrical and thermo-physical characteristics which are determined as follows:

5. SINTEZĂ METODOLOGICĂ

Aceasta implică tratarea elementului de captare a radiației solare sub forma unei plăci pane omogene cu caracteristici geometrice și termofizice de material care se determină după cum urmează:

5.1. Determination of the equivalent homogeneous structure of the solar radiation collecting unit

5.1.1. Real component – structure, thermo-physical characteristics, thermal resistance (the layers are marked from the outside to the inside) (Table 1).

5.1. Determinarea structurii omogene echivalente a elementului de captare a radiației solare

5.1.1. Elementul real – structură, proprietăți termofizice, rezistență termică (notarea straturilor se face de la interior la exterior) (Tabelul 1)

Table 1.

Material	Thickness [m]	λ [W / mK]	ρ [kg / m ³]	c [J / kgK]	a [m ³ / s]
Mat. 1	δ_1	λ_1	ρ_1	C_1	a_1
Mat. 2	δ_2	λ_2	ρ_2	C_2	a_2
Mat. 2	δ_2	λ_3	ρ_3	C_3	a_3
...	...	...	...	...	...
Mat. $n - 1$	δ_{n-1}	λ_{n-1}	ρ_{n-1}	C_{n-1}	a_{n-1}
Mat. n	δ_n	λ_n	ρ_n	C_n	a_n

5.1.2. Determination of value α_i

$$\alpha_i = \alpha_{cv} + \alpha_r F_R \cdot \frac{S_T}{S_E}; \quad F_R = 0,2 \cdot (6 - N_{P_i})$$

5.1.2. Determinarea valorii α_i

5.1.3. Value α_e is determined by relation (10).

5.1.3. Se determină valoarea α_e cu relația (10)

5.1.4. Thermal resistance (the thermal bridges are excluded)

5.1.4. Rezistența termică (se exclud punțile termice)

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{k=1}^n \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_k$$

5.1.5. Random values of the density and of the mass specific heat of the single material (M) are selected selected, namely ρ_M and c_M .

5.1.5. Se aleg valori arbitrare ale densității și căldurii specifice masice ale materialului unic (M), ρ_M și c_M .

5.1.6. The equivalent thermal conductivity is determined, λ_M :

$$\lambda_M = \left(\frac{\sum_k \frac{\delta_k}{\sqrt{a_k \rho_M c_M}}}{\sum_k \frac{\delta_k}{\lambda_k}} \right)^2$$

5.1.7. The thickness of the equivalent homogeneous structure is determined for each layer:

$$\delta_{M_k} = \delta_k \cdot \left(\frac{\lambda_M}{\lambda_k} \cdot \frac{\rho_k c_k}{\rho_M c_M} \right)^{0,50}$$

5.1.8. The total equivalent thickness is determined:

$$\delta_M = \sum_k \delta_{M_k}$$

5.1.9. The equivalent thermal diffusivity is determined:

$$a_M = \frac{\lambda_M}{\rho_M c_M}$$

5.1.6. Se determină conductivitatea termică echivalentă λ_M :

5.1.7. Se determină grosimea structurii omogene echivalente, pe fiecare strat în parte:

5.1.8. Se determină grosimea totală echivalentă:

5.1.9. Se determină difuzivitatea termică echivalentă:

5.2. The equivalent structures thermal resistance is determined:

5.2. Se determină rezistența termică a structurii echivalente:

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_M}{\lambda_M}$$

(equal to the real structure thermal resistance).

(egală cu rezistența termică a structurii reale).

5.3. The following numerical coefficients are determined:

5.3. Se determină coeficienții numerici:

$$\beta = \frac{S_v}{S_p}; \quad A_1 = -\beta^{-1} \cdot \alpha_{cv}^{-1} \cdot R_v'^{-1}; \quad A_2 = \frac{\beta^{-1} \alpha_r + \alpha_{cv} + R_v'^{-1}}{\alpha_{cv}}; \quad A_3 = -\alpha_{cv}^{-1} \cdot R_v'^{-1}$$

$$B_1 = -\frac{\alpha_{cv} A_1 + \alpha_{cv} \cdot [\beta \cdot A_1 - (1 - A_1)]}{\alpha_{cv} A_2 + \alpha_{cv} \cdot [\beta \cdot (A_2 - 1) + A_2]}; \quad B_2 = -\frac{\alpha_{cv} \cdot (A_3 - 1) + \alpha_{cv} A_3 \cdot (1 + \beta)}{\alpha_{cv} A_2 + \alpha_{cv} \cdot [\beta \cdot (A_2 - 1) + A_2]}$$

$$C_1 = A_1 + A_2 B_1; \quad C_2 = A_3 + A_2 B_2; \quad D_1 = \frac{\alpha \beta}{\alpha_{cv} C_2 + \alpha_r B_2};$$

$$Bi_i = \alpha_i \cdot \frac{\delta_M}{\lambda_M}; \quad Bi_e = \alpha_e \cdot \frac{\delta_M}{\lambda_M};$$

$n = 0.62$ (for the solution of the CE INCERC Bucharest solar space)
 M_1, M_2, M_3, Num , according to relation (14).

$n = 0,62$ (pentru soluția la spațiu solar CE INCERC București)
 M_1, M_2, M_3, Num , conform relației (14).

5.4. The equivalent temperature t_E (τ) is determined:

$$t_E(\tau) = t_e(\tau) + \frac{\alpha \beta}{\alpha_{cv} C_2 + \alpha_r B_2} \cdot [c_s I_T(\tau) + 1,1 \cdot (1 - c_s) \cdot I_d(\tau)]$$

(as $C_2 = 1 - C_1$; $B_2 = 1 - B_1$).

5.5. N_p , N_2 are determined (according to 15)

The calculation relations necessary in determining the thermal flows and the temperatures required by the dynamic simulation are:

$q_i(x = 0, \tau)$	according to (12)
$\vartheta_p(x = \delta_M, \tau)$	according to (13)
$t(\tau)$	according to (5)
$t_{as}(\tau)$	according to (18)

Of these, $q_i(x = 0, \tau)$ and $t_{as}(\tau)$ are the parameters required by the dynamic simulation of the main zone of the building, which is equipped with a ventilated solar space.

6. CONCLUSIONS

1. Taking into account the ventilated solar space of CE INCERC, a model specific to the hourly pace heat transfer transient conditions was carried out, the object of which is the modeling of the dynamic process of pre-heating the air exhausted in the building.

2. The experimental validation tests covered three periods of time totalizing 104 days, a number sufficient for statistically validating the results.

3. The parallel analysis was focused on the temperature variation of the hot air exhausted in the heated space and on the thermal flow supplied to the ventilated solar space by a convective effect.

4. The errors between the measured and the calculated values range between 3-8 % which confirms the satisfactory accuracy of the mathematical model specific to the ventilated solar space.

BIBLIOGRAPHY

- [1] *** *Impact of the modern solutions of the energy upgrading of the existing buildings on their energy and economic performance, in the context of the European Directive 2002/91/EEC*, Contract 6B02 Amtrans, Phases 3 and 4 / 2004
- [2] Constantinescu, D., *Heat Engineering Treatise – Heat Engineering in Construction*, Vol. 1, Ed. AGIR, Bucharest, 2008

5.4. Se determină temperatura echivalentă t_E (τ):

$$t_E(\tau) = t_e(\tau) + \frac{\alpha \beta}{\alpha_{cv} C_2 + \alpha_r B_2} \cdot [c_s I_T(\tau) + 1,1 \cdot (1 - c_s) \cdot I_d(\tau)]$$

(deoarece $C_2 = 1 - C_1$; $B_2 = 1 - B_1$).

5.5. Se determină: N_p , N_2 (conform (15))

Relațiile de calcul necesare determinării fluxurilor termice și temperaturilor necesare simulării dinamice sunt:

$q_i(x = 0, \tau)$	conform (12)
$\vartheta_p(x = \delta_M, \tau)$	conform (13)
$t(\tau)$	conform (5)
$t_{as}(\tau)$	conform (18)

Dintre acestea $q_i(x = 0, \tau)$ și $t_{as}(\tau)$ sunt parametri necesari simulării dinamice a zonei principale a clădirii dotată cu spațiu solar ventilat.

6. CONCLUZII

1. Dată fiind dotarea CE INCERC cu spațiu solar ventilat s-a elaborat un model propriu regimului variabil de transfer de căldură cu pas orar având ca obiect modelarea procesului dinamic al preîncălzirii aerului refulat în clădire.

2. Testele de validare experimentală au cuprins trei intervale de timp cu un total de 104 zile, număr suficient pentru a valida statistic rezultatele.

3. S-au analizat în paralel variația temperaturii aerului cald refulat în spațiul încălzit și fluxul termic furnizat de către spațiul solar ventilat prin efect convectiv.

4. Erorile dintre valorile măsurate și cele calculate se situează în plaja 3-8 %, ceea ce confirmă corectitudinea satisfăcătoare a modelului matematic propriu spațiului solar ventilat.

BIBLIOGRAFIE

- [1] * * * *Impactul soluțiilor moderne de reabilitare energetică a clădirilor existente asupra performanței energetice și economice a acestora, în contextul prevederilor directivei europene 2002/91/EEC*, Contract 6B02 Amtrans, Fazele 3 și 4 / 2004
- [2] Constantinescu, D. – *Tratat de inginerie termică. Termotehnica în construcții*, Vol. 1 – Fundamentare teoretică, București, Ed. AGIR, 2008