
EXISTING BUILDINGS ENERGY FOOTPRINT (EF) – AN INSTRUMENT FOR THE EVALUATION OF REAL BEP (BUILDING ENERGY PERFORMANCE) IN REAL CONDITIONS OF CLIMATIC AND ANTHROPIC LOADS

Horia PETRAN, Dan CONSTANTINESCU *

ABSTRACT

The energy footprint of a building is an operational characteristic specific to the building structure as well as to the energy-related operational conditions of the building. This paper presents the experimental programme carried out on the support of the CE INCERC Bucharest experimental building in the 2008-2009 cold season and the results obtained in the form of the building energy footprint. At the same time, the building energy footprint before the energy-related upgrading (2003-2004 cold season) are presented, as well as those subsequent to the energy-related upgrading (thermal protection, equipping with a ventilated solar space and heating system replacement). The character natural laws of the energy footprint is emphasized. This paper presents a theoretical substantiation of the use of the energy footprint method in the case of condominiums in the form of the operational method, which is useful in settling the functional characteristic in any climatic conditions and in any operational conditions.

Key-words: building energy footprint, energy performance of buildings, climatic loads, anthropic loads, real operational conditions

REZUMAT

Amprenta energetică a unei clădiri reprezintă o caracteristică funcțională proprie structurii clădirii, pe de o parte, și regimului de exploatare a clădirii din punct de vedere energetic, pe de altă parte. În lucrarea de față se prezintă programul experimental desfășurat pe suportul clădirii CE INCERC București, în sezonul rece 2008-2009, precum și rezultatele obținute sub forma amprentei energetice a clădirii. Se prezintă, în paralel, amprentele energetice ale clădirii anterior modernizării energetice (sezonul rece 2003-2004) și ulterior modernizării energetice (protecție termică, dotare cu spațiu solar ventilat și înlocuire instalație de încălzire). Este evidențiat caracterul legic al amprentei energetice. Lucrarea prezintă o fundamentare teoretică a utilizării metodei amprentei energetice în cazul condominiilor sub forma metodei operaționale utilă stabilirii caracteristicii funcționale în orice condiții climatice și în orice regim de exploatare.

Cuvinte cheie: amprenta energetică a clădirii, performanța energetică a clădirii, solicitare climatică, solicitare de tip antropic, condiții de exploatare reală

1. INTRODUCTION

The assessment of the Building Energy Performance (BEP) in real operational conditions is one of the issues still debated by the scientific and technical circles. The European Directives [1], [2] focused on BEP mention the operational methods as possible ones, but still alternative. The comparison at a local, regional, national and European level of the BEP specific to various types of buildings and mainly of the global results is actually impossible as long as a methodology useful in the acquisition and processing of certain data representative for the building and for the climate of the location of the building and to the conversion of the operational characteristic by reference to a climate and a standard operational regime specific to the representative types of buildings has not yet been developed [3]. The authors approach these two aspects in terms of proving the objective nature of the building energy

1. INTRODUCERE

Evaluarea Performanței Energetice a Clădirii în condiții reale de exploatare este una din problemele încă aflate în dezbaterile mediilor științifice și tehnice. Directivele europene [1], [2] care au ca obiect BEP menționează metodele operaționale ca metode posibile, dar încă cu valoare de metode alternative. Compararea la nivel local, regional, național și european a BEP propriu diverselor tipuri de clădiri și în special a rezultatelor globale este practic imposibilă atât timp cât nu se dezvoltă o metodologie utilă culegerii și prelucrării unor date reprezentative pentru clădire și pentru clima localității în care se află clădirea, precum și conversiei caracteristicii funcționale prin referire la o climă și un regim funcțional standard, proprii tipurilor reprezentative de clădiri [3]. Autorii abordează cele două aspecte sub forma demonstrării caracterului obiectiv al amprentei energetice a clădiri și sub forma

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

footprint and of substantiating the method of generating the operational characteristic as well as the method of conversing the resulted values, according to reference climatic and operational characteristics.

2. PRESENTATION OF THE INCERC EXPERIMENTAL BUILDING EQUIPPED WITH A VENTILATED SOLAR SPACE (CE)

The experimental building within the precinct of INCERC Bucharest is an individual one-storey dwelling building, with a sloping roof and no basement, originally designed and performed as an experimental building for BCA (autoclaved lightweight concrete) structural and closing elements. Currently the building includes one apartment: one living room, two bedrooms, one kitchen, one bathroom, one vestibule, one hall and a porch.

The front façade of the building, covering the main entrance and the porch, is West – directed. The opposite façade, East-directed, covers the secondary entrance in the building. It is moderately sheltered. The INCERC experimental building has been subjected to considerable improvements of the original energy performance, during several research projects, by the heat insulation of the perimetral opaque building elements, the equipping with heat insulating windows and doors and with an automatic power-operated thermal station unit as well as with a ventilated solar space adjoining the South-directed wall. The indoor microclimate is controlled in the cold season by means of thermostatic valves equipping the heating units.

The building main structure is made of BCA blocks masonry structural walls, 29 cm thick, with mortar and no reinforced concrete columns; it is however equipped on the upper side with a reinforced concrete continuous belt. The outside heat insulation is made of 6 cm expanded polystyrene and decorative coating finishing. The floor above the ground floor is made of 20 cm thick BCA reinforced strips, interlocked by an 8 cm thick reinforced concrete slab. The roof is plated on the surface of the sloping roof with a glass wool layer stuck to the ceiling, with an anti-vapour barrier towards the indoor space, protected by gypsum cardboard plates fixed on a system of metallic profiles anchored to the ceiling by metallic clamps.

The system of the solar space type was included in order to use the environmental exergy.

fundamentării metodei de generare a caracteristicii funcționale și a metodei de conversie a valorilor rezultate, în funcție de caracteristici climatice și funcționale de referință.

2. PREZENTAREA CLĂDIRII EXPERIMENTALE INCERC DOTATĂ CU SPAȚIU SOLAR VENTILAT (CE)

Clădirea experimentală din incinta INCERC București este o clădire de locuit individuală, parter, cu acoperiș înclinat, fără subsol, proiectată și executată inițial ca o clădire experimentală pentru elemente structurale și de închidere din BCA. În prezent clădirea are un singur apartament cu: o cameră de zi, două dormitoare, o bucătărie, o baie, sas, hol, pridvor.

Clădirea este orientată cu fațada principală, prevăzută cu intrarea principală în clădire și pridvor, la vest. Fațada opusă, spre est, este prevăzută cu intrarea secundară în clădire. Este adăpostită moderat. Clădirea experimentală din incinta INCERC a făcut obiectul unor îmbunătățiri considerabile ale performanței energetice inițiale în cadrul unor proiecte de cercetare, prin termoizolarea elementelor constructive perimetrale opace, dotarea cu ferestre și uși termoizolante și cu o centrală termică automatizată funcționând cu energie electrică, respectiv prin dotarea clădirii cu un spațiu solar ventilat adiacent peretelui orientat Sud. Microclimatul interior în sezonul rece este controlat prin intermediul robinetelor cu cap termostatic cu care sunt dotate corpurile de încălzire.

Structura de rezistență a clădirii este alcătuită din pereți structurali din zidărie din blocuri BCA, de 29 cm grosime, cu mortar, neprevăzută cu stâlpișori din beton armat, dar prevăzută la partea superioară cu centură continuă din b.a. Izolația termică exterioară este realizată cu 6 cm polistiren expandat, finisaj tencuială decorativă. Planșeul de peste parter este alcătuit din fâșii armate din BCA de 20 cm grosime, solidarizate cu o placă din beton armat de 8 cm grosime. Acoperișul este placat la suprafața tavanului înclinat al clădirii cu un strat de vată de sticlă lipită de tavan prevăzută cu barieră contra vaporilor către interior, protejate cu plăci de Gips carton prinse pe un sistem de profile metalice ancorate de tavan prin clipsuri metalice.

Sistemul de tip spațiu solar a fost realizat în scopul utilizării exergiei mediului natural.

The solar space follows the entire opaque wall on the South side of the building (7.95 m); on the vertical it is closed under the existing concrete double overhang. The solar space width was limited to 70 cm – necessary for assembly and maintenance. The geometric characteristics of the experimental building are presented in Figure 1.

Spațiul solar se desfășoară de-a lungul întregului perete opac de pe latura de Sud a construcției (7,95 m), iar pe verticală se închide sub strașina în două ape de beton existentă. Lățimea spațiului solar a fost limitată la 70 cm – necesară pentru montaj și întreținere. Caracteristicile geometrice ale clădirii experimentale se prezintă în figura.1

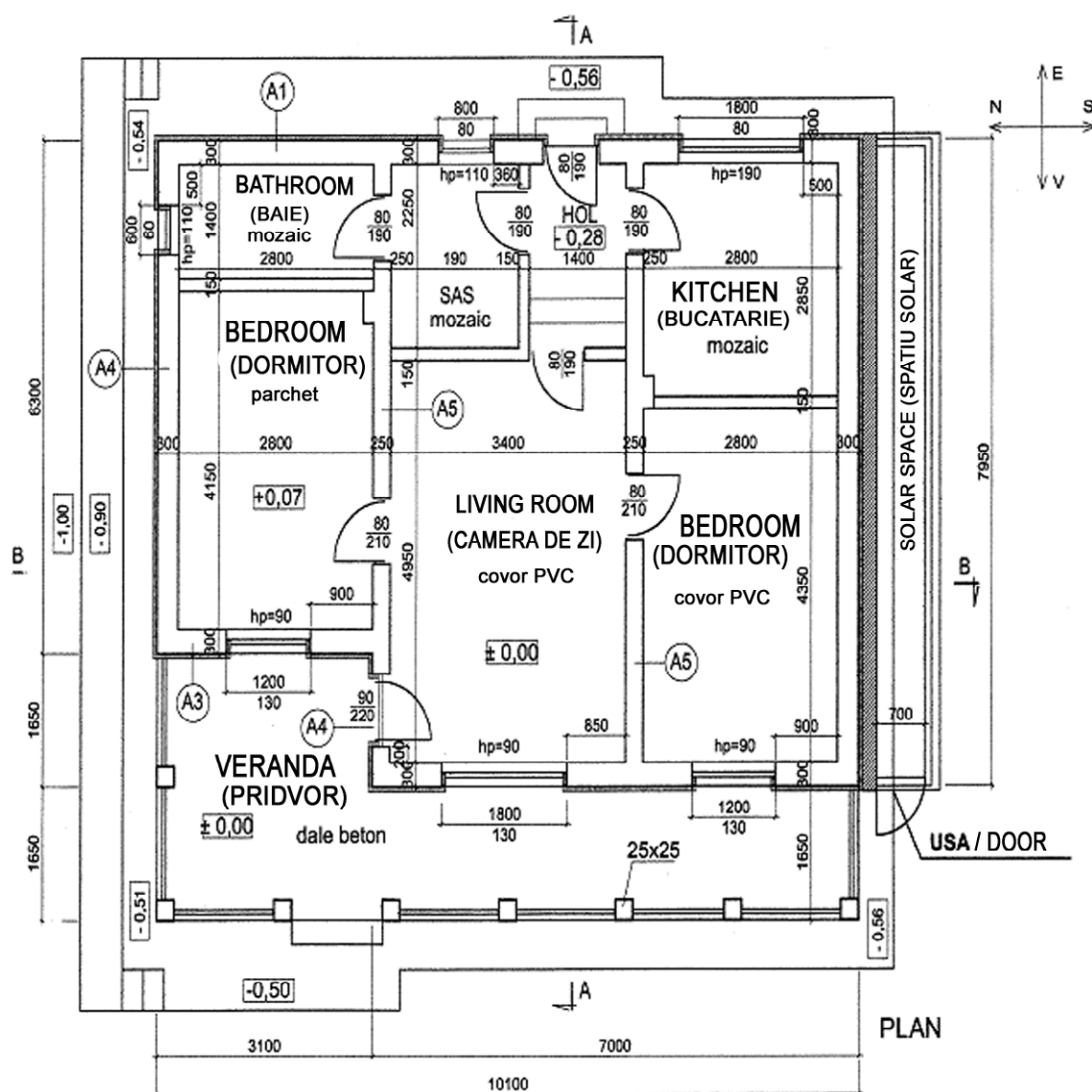


Fig. 1. Layout of INCERC experimental building (Plan clădire experimentală INCERC)

The inside structural walls of the building are made of 25 (24) cm thick BCA masonry; the inside non-structural walls are made of 15 cm thick BCA masonry.

The processing of the data measured in the experimental building, focused on the structural elements, provided a value of the BCA thermal conductivity, $\lambda_{\text{BCA (M)}} = 0,16 \text{ W/(mK)}$. Considering

Pereții interiori structurali ai încăperilor sunt din zidărie de BCA de 25 (24) cm grosime, iar cei interiori nestructurali, din zidărie de BCA de 15 cm grosime.

În urma prelucrării datelor măsurate în clădirea experimentală, cu referire la elementele de construcție, s-a obținut o valoare a conductivității termice a BCA de $\lambda_{\text{BCA (M)}} = 0,16 \text{ W/(mK)}$. Ținând

the dimensions of the BCA blocks that were used ($60 \times 25 \times 29$ cm) and the masonry joints thickness, the resulting design thermal conductivity of the BCA masonry is $\lambda_{\text{BCA (ZID)}} = 0.1985 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. The recalculated thermal resistance values of the vertical opaque structural elements are the following, taking into account the previously mentioned design conductivity and the thermal bridges:

- thermal resistance in current field: $R_0 = 3.020 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$,
- adjusted thermal resistance: $R'_0 = 1.85 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$.

The outside joinery is made of PVC; the frame and the sash have three inner tubes ($U_f = 1,7 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$) and the glazing is of double heat insulating glass. In terms of the characteristics of the heat insulating glazing, the windows are distanced by the space between the window panes, the inside gas and the treating of one of the inside surfaces; the thermal resistances range between $0.42 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ and $0.64 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$. The joinery adjusted mean resistance for the whole building is the following:

$$R_{Fm0} = R'_{Fm0} = 0,516 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}.$$

The thermal characteristics of the roof platform are the following:

- thermal resistance in current field: $R_0 = 2,978 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$;
- adjusted thermal resistance: $R'_0 = 2,311 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$.

Table 1 introduces the thermal characteristics of the envelope.

seama de dimensiunile blocurilor din BCA utilizate ($60 \times 25 \times 29$ cm) și de grosimea rosturilor zidăriei rezultă conductivitatea termică de calcul a zidăriei din BCA $\lambda_{\text{BCA (ZID)}} = 0,1985 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Rezistențele termice recalculate ale elementelor de construcție opace verticale ținând seama de conductivitatea de calcul menționată și de punțile termice sunt următoarele:

- rezistența termică în câmp curent: $R_0 = 3,020 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$,
- rezistența termică corectată: $R'_0 = 1,85 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$.

Tâmplăria exterioară este din PVC având tocul și cerceveaua cu trei camere de aer ($U_f = 1,7 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$) și vitrajul de tip geam termoizolant dublu. Din punct de vedere al caracteristicilor vitrajului termoizolant, ferestrele sunt diferențiate prin distanța dintre foile de geam, gazul interior și tratarea uneia dintre suprafețele interioare, rezistențele termice fiind cuprinse între $0,42 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ și $0,64 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$.

La nivelul ansamblului clădirii a rezultat o rezistență medie corectată a tâmplăriei:

$$R_{Fm0} = R'_{Fm0} = 0,516 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}.$$

Caracteristicile termice ale planșeul de acoperiș sunt următoarele:

- rezistența termică în câmp curent: $R_0 = 2,978 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$;
- rezistența termică corectată: $R'_0 = 2,311 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$.

Caracteristicile termice ale anvelopei sunt prezentate în tabelul nr. 1.

Table 1.

No.	Structural element		S		R	r ₁	R'
			m ²		m ² K/W	–	m ² K/W
1	Outside walls	North	17,20	76,60	3,020	0,614	1,85
2		South	20,24				
3		East	16,06				
4		West	23,10				
5	Outside joinery	North	2,34	11,40	0,516	1,0	0,516
6		South	–				
7		East	3,60				
8		West	5,46				
9	Roof slope 25 %	Horizontal	66,80		2,978	0,768	2,311
10	Floor on soil	–	64,80		–	–	–

The indoor heating system uses cast-iron static units supplied with water as a heat carrier. The energy source for heating is an ACV electric boiler, ETX09 brand, with a rated capacity of 8.4 kW. The heating units are equipped with thermostatic adjustment valves. In addition, the thermal load adjustment is performed according to the representative indoor temperature of the building by a room thermostat (in order to protect the flowing pump). The operational diagram of the heating system is presented in Figure 2.

Instalația de încălzire interioară este cu corpuri statice din fontă alimentate cu agent termic apă. Sursa de energie pentru încălzire este un cazan electric ACV, model ETX09, având puterea termică nominală: 8,4 kW. Corpurile de încălzire sunt dotate cu robinete de reglare cu cap termostatic. Suplimentar, reglajul sarcinii termice se realizează în funcție de temperatura interioară reprezentativă a clădirii printr-un termostat de încăpăre (în scopul protejării pompei de circulație). Schema funcțională a instalației de încălzire este prezentată în figura 2.

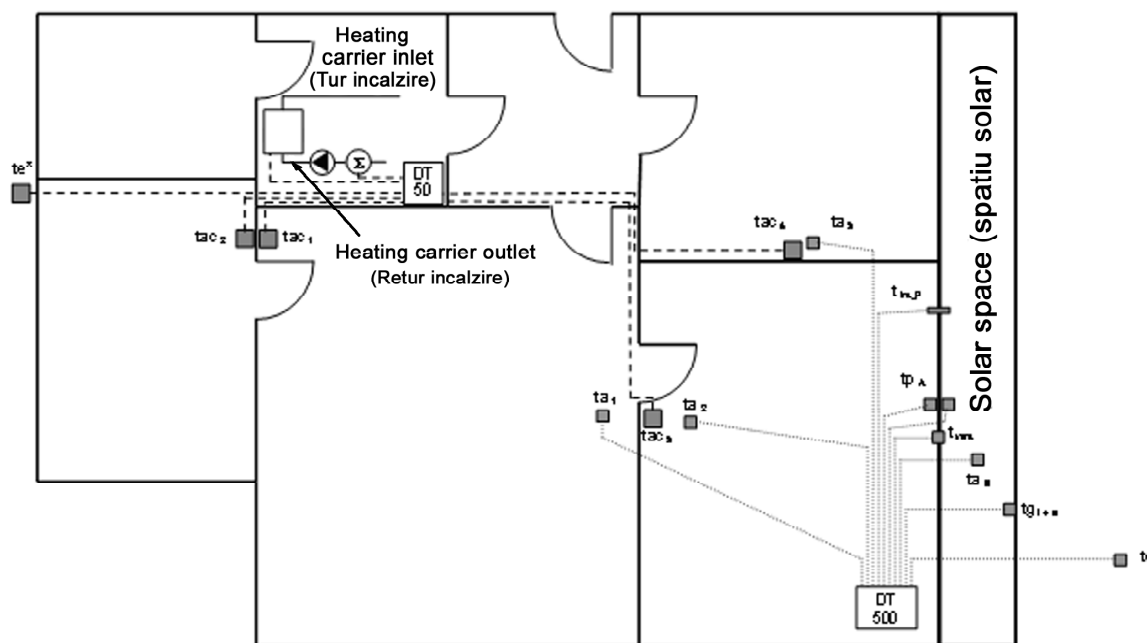


Fig. 2. Measurement points location – INCERC experimental building
(Amplasarea punctelor de măsurare – Casa experimentală INCERC)

3. PRESENTATION OF THE MEASUREMENT CHAIN – COLD SEASON

The INCERC experimental building monitoring is performed by means of a complex data collecting system in view of assessing the thermodynamic parameters necessary in evaluating the energy performance in real operational conditions, by long-term measurements, as follows:

- air temperature in the heated spaces of the experimental building;
- temperature of the air exhausted from the collecting greenhouse;
- temperature values of the inlet and outlet heat carrier in the indoor heating system, at the heat source;

3. PREZENTAREA LANȚULUI DE MĂSURARE – SEZON RECE

Monitorizarea clădirii experimentale INCERC se realizează prin intermediul unui sistem de achiziție de date complex în vederea determinării parametrilor termodinamici necesari evaluării performanței energetice în condiții reale de funcționare, prin măsurări de lungă durată, după cum urmează:

- temperatura aerului în spațiile încălzite ale clădirii experimentale;
- temperatura aerului refulat din sera captatoare;
- temperaturile agentului termic de ducere și întoarcere din instalația de încălzire interioară, la nivelul sursei de căldură;

- temperature of the solar radiation collecting element (on surface and in depth);
- thermal gradient of the air in the collecting greenhouse (vertical and horizontal gradient);
- glazed area temperature;
- outdoor temperature;
- solar radiation total and diffuse intensity measured horizontally;
- volume flow-rate of the air exhausted in the dwelling space;
- heat flow supplied by the building heating system;
- heat flow on the SOUTH wall measured on the inside surface of this wall;
- temperature on the inside surface of the SOUTH wall;
- infrared exploration:
 - inside*: Outside Walls, heating units, air exhaustion slots;
 - outside*: Outside Walls, greenhouse.

The measurement chain that is used includes three data acquisition systems: the first one is used in monitoring the thermodynamic parameters specific to the heated space, the second in monitoring the operational parameters of the indoor heating system and the third in measuring the relevant climatic parameters.

The measurements performed on the INCERC experimental house lead to the following values:

A. Monitoring system – indoor heating system:

- , $Pe(\tau)$ – electric power at the energy source for space heating [W];
- , $E(\tau)$ – power consumption in the time-lag between two successive readings of the energy source [kWh];
- , $G_s(\tau)$ – heat carrier volume flow-rate of the heating energy source [m^3/h];
- , $t_{ac1}(\tau)$ – air indoor temperature in the living room (sitting room) [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac2}(\tau)$ – air indoor temperature in the NW bedroom [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac3}(\tau)$ – air indoor temperature in the SW bedroom [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac4}(\tau)$ – air indoor temperature in the kitchen [$^{\circ}C$].

- temperatura elementului de captare a radiației solare (pe suprafață și în grosime);
- gradientul termic al aerului în sera captatoare (gradient vertical și orizontal);
- temperatura suprafeței vitrate;
- temperatura exterioară;
- intensitatea totală și difuză a radiației solare în plan orizontal;
- debitul volumic al aerului refulat în spațiul locuit;
- fluxul de căldură furnizat de instalația de încălzire a clădirii;
- fluxul termic la nivelul peretelui SUD măsurat la suprafața interioară a peretelui menționat;
- temperatura pe suprafața interioară a peretelui SUD;
- explorare în infraroșu:
 - interior*: Pereți Exteriori, corpuri de încălzire, fante de refulare a aerului;
 - exterior*: Pereți Exteriori, seră.

Lanțul de măsurare utilizat se compune din trei sisteme de achiziție a datelor: primul pentru monitorizarea 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:

A. Sistem de monitorizare – instalație de încălzire interioară:

- , $Pe(\tau)$ – puterea electrică la nivelul sursei de energie pentru încălzirea spațiilor [W];
- , $E(\tau)$ – energia electrică consumată pe perioada dintre două citiri succesive la nivelul sursei de energie [kWh];
- , $G_s(\tau)$ – debitul volumic de agent termic la nivelul sursei de energie pentru încălzire [m^3/h];
- , $t_{ac1}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din camera de zi (sufragerie) [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac2}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din dormitorul NV [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac3}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din dormitorul SV [$^{\circ}C$];
- , $t_{ac4}(\tau)$ – temperatura interioară a aerului din bucătărie [$^{\circ}C$].

B. Solar radiation measurement system:

- , $IG(\tau)$ – global solar radiation (total, horizontally) [W / m^2];
- , $IdH(\tau)$ – diffuse solar radiation, horizontally [W / m^2];
- , $t_e(\tau)$ – outdoor air temperature [$^{\circ}C$].

The equipment used for measurements is the following:

A. Monitoring system – indoor heating system:

- β Automatic data recorder with DataTaker 50 processor;
- β *Aquametro*, PMG Dn 32 turbine flow-meter with RH impulse transmitter;
- β TPM-79 electronic transducer for electric power measurement;
- β *Sauter* EGT 420 indoor air temperature probes with PT 100 sensors, error $\pm 0.12\%$ – for measuring the temperatures t_{ac1} , t_{ac2} , t_{ac3} and t_{ac4} ;
- β E-type thermocouples for measuring the inlet / outlet heat carrier temperatures at the heat source level.

B. Solar radiation measurement system:

- β Automatic data recorder with DataTaker 505 processor;
- β 2 CMP6 pyranometers for measuring the hemispheric solar radiation;
- β CM 121B shading ring to be fixed on the CMP6 pyranometer;
- β Pt100 thermal resistance for measuring the outdoor temperature in a screened ventilated box (weather shelter type).

Figure 2 presents the assemblies used in recording the measured parameters. The temperatures are read every 5 seconds and are averaged every 5 minutes; the heat carrier flow-rate is determined as a mean value in a time-lag of 5 min. according to the number of impulses emitted by the flow-meter (1 l / imp.). The averaged values are recorded on the memory cards of the DataTaker 50, DataTaker 500 and DataTaker 505 devices respectively and then saved in the memory of a notebook computer.

B. Sistem de măsurare a radiației solare:

- , $IG(\tau)$ – radiația solară globală (totală în plan orizontal) [W / m^2];
- , $IdO(\tau)$ – radiația solară difuză în plan orizontal [W / m^2];
- , $t_e(\tau)$ – temperatura aerului exterior [$^{\circ}C$].

Aparatura utilizată la efectuarea măsurărilor este compusă din:

A. Sistem de monitorizare – instalație de încălzire interioară:

- β Înregistrator automat de date cu procesor DataTaker 50;
- β Debitmetru cu turbină *Aquametro*, PMG Dn 32, cu emițător de impulsuri RH;
- β Traductor electronic TPM-79 pentru măsurarea puterii electrice;
- β Sonde de temperatură aer interior *Sauter* EGT 420 cu senzori PT 100, eroare $\pm 0,12\%$ – pentru măsurarea temperaturilor t_{ac1} , t_{ac2} , t_{ac3} și t_{ac4} ;
- β Termocupluri tip E pentru măsurarea temperaturilor agentului termic tur / retur la nivelul sursei de căldură.

B. Sistem de măsurare a radiației solare:

- β Înregistrator automat de date cu procesor DataTaker 505;
- β 2 Piranometre CMP6 pentru măsurarea radiației solare emisferice;
- β Inel de umbrire CM 121B pentru montare pe piranometru CMP6;
- β Termorezistență Pt100 pentru măsurarea temperaturii exterioare în cutie ventilată ecranată (tip adăpost meteorologic).

În figura 2, se prezintă montajele utilizate pentru înregistrarea parametrilor mășurați. Temperaturile sunt citite la intervale de 5 s și sunt mediate la fiecare 5 min, iar debitul de agent termic se determină ca valoare medie pe durata a 5 min. În funcție de numărul de impulsuri emise de debitmetru (1 l / imp.). Valorile mediate sunt înregistrate pe cartelele de memorie din componența aparatelor DataTaker 50, DataTaker 500, respectiv DataTaker 505 și apoi preluate în memoria unui calculator portabil tip „notebook”.

4. PROCESSING OF MEASURED DATA

The measurements were performed in the 2008-2009 cold season starting in September 2008 until the end of March 2009.

The building operates in microclimate thermostatic conditions. The inlet heat carrier temperature at the heat source was settled at 45°C and the heat supply adjustment was performed for each heated room by means of the thermostat valves by reducing the heat carrier flow-rate flown in the heating units. The mobile elements (windows, doors) are not opened and the ventilation is ensured in conditions of steady-state air flow-rate which is $G = 102,9 \text{ m}^3 / \text{h}$ for 24 h / day, by the ventilated solar space. In order to determine the building energy footprint, 153 days were selected, including sequences of at least 5 consecutive days. The permanently measured data (solar radiation temperatures and intensities) were processed as daily mean values and values specific to the monthly tile-lags.

The processing of measured data is based on determining the daily and monthly mean values (or sub-month time-lags longer than 5 consecutive days) of the determining parameters, namely: t_e , $t_{\text{aer.int.}}$, $t_{\text{aer.sera}}$, $t_{\text{Perete captator}}$, heat consumption [kWh / month], greenhouse air flow-rate [m^3 / h], solar radiation intensity.

These values are presented in Table 2.

4. PRELUCRAREA DATELOR MĂSURATE

Măsurările s-au desfășurat în sezonul rece 2008-2009 începând din luna septembrie 2008 până la finele lunii martie 2009.

Clădirea funcționează în regim de termostatare a microclimatului. Temperatura de tur a agentului termic la nivelul sursei de căldură a fost fixată la valoarea de 45°C, iar reglajul furnizării căldurii se face pentru fiecare încăpere încălzită la nivelul robinetelor cu cap termostatic prin reducerea debitului de agent termic vehiculat prin corpurile de încălzire. Elementele mobile (ferestre, uși) nu se deschid, iar ventilarea se asigură în regim de debit constant de aer $G = 102,9 \text{ m}^3 / \text{h}$ pe durata de 24 h / zi, prin intermediul spațiului solar ventilat. Pentru determinarea amprenteii energetice a clădirii au fost selectate 153 de zile formate din secvențe de minim 5 zile consecutive. Datele măsurate continuu (temperaturi și intensități ale radiației solare) au fost prelucrate sub forma mediilor zilnice și specifice intervalelor lunare.

Prelucrarea datelor măsurate se axează pe determinarea valorilor medii zilnice și lunare (sau intervale sublunare mai lungi de 5 zile consecutive) ale parametrilor determinanți, respectiv: t_e , $t_{\text{aer.int.}}$, $t_{\text{aer.sera}}$, $t_{\text{Perete captator}}$, consumul căldură [kWh / lună], debit aer seră [m^3 / h], intensitatea radiației solare.

Valorile de prezintă în tabelul 2.

Table 2.

Parameters measured in the experimental building (season 2008-2009)

Month	Number days / month	Q measured [kWh]	Outdoor temp.	tPEabs. measured	tVENT measured	Indoor air temp.	IT-horiz [W/m ²]	Id-horiz [W/m ²]	IT-S [W/m ²]
IX	5	72,8	13,7	21,6	21,1	23,4	105,4	67,8	86,4
X	9	43,3	16,0	27,9	27,2	23,8	134,8	56,0	136,1
XI	23	916,4	5,1	14,3	13,5	23,1	57,3	32,0	82,0
XII	31	1.489,1	3,2	10,2	9,7	22,8	34,6	19,4	55,1
I	31	1.705,1	0,7	8,7	8,1	22,5	44,8	25,3	68,3
II	28	1.283,5	3,8	13,9	13,1	22,7	78,7	45,7	87,8
III	26	843,0	8,4	21,0	20,3	23,2	147,8	73,9	128,9
		TOTAL	Mean value						
		6353,20	5,6						

The power consumption values for heating, integrated on time-lags of 1 day, 5 and 7 consecutive days respectively, were correlated with the average outdoor temperature specific to the period under analysis and the results are presented in Figures 3, 4 and 5.

Valorile consumului de energie electrică pentru încălzire, integrate pe perioade de timp de 1 zi, 5 zile și respectiv 7 zile consecutive, au fost corelate cu temperatura exterioară medie caracteristică perioadei de analiză și rezultatele se prezintă în fig. 3, 4 și 5.

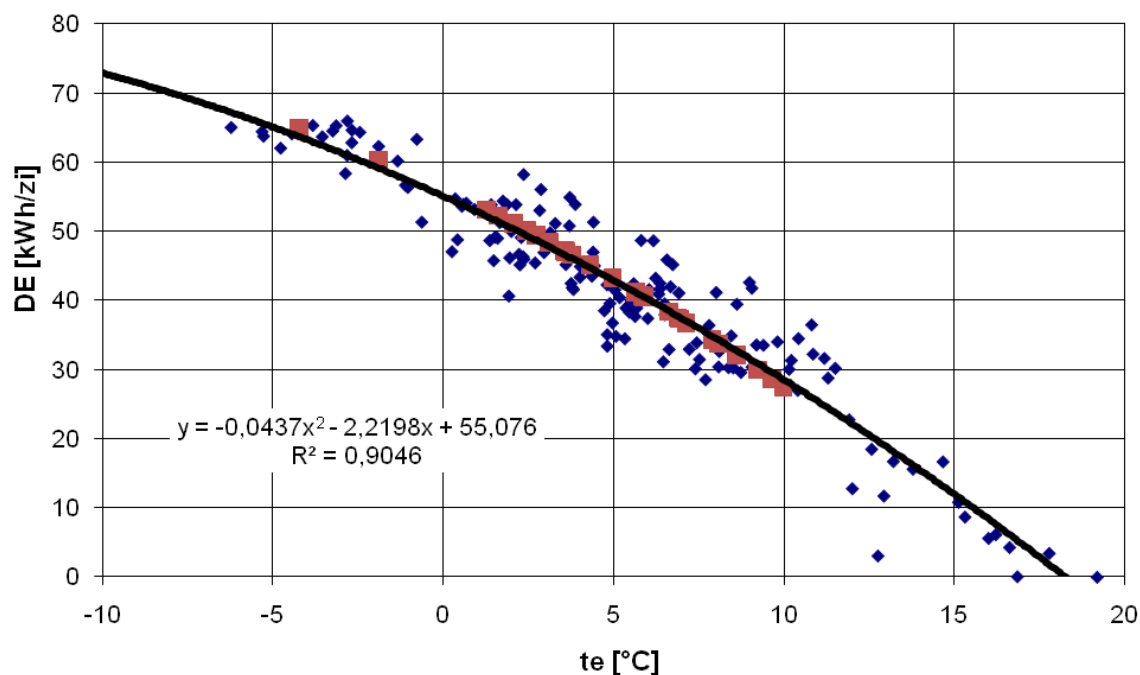


Fig. 3. Power consumption for heating DE [kWh / day] – daily mean values (01.09.2008-29.03.2009)
(Consum de energie electrică pentru încălzire DE [kWh / zi] – valori medii zilnice
(01.09.2008-29.03.2009))

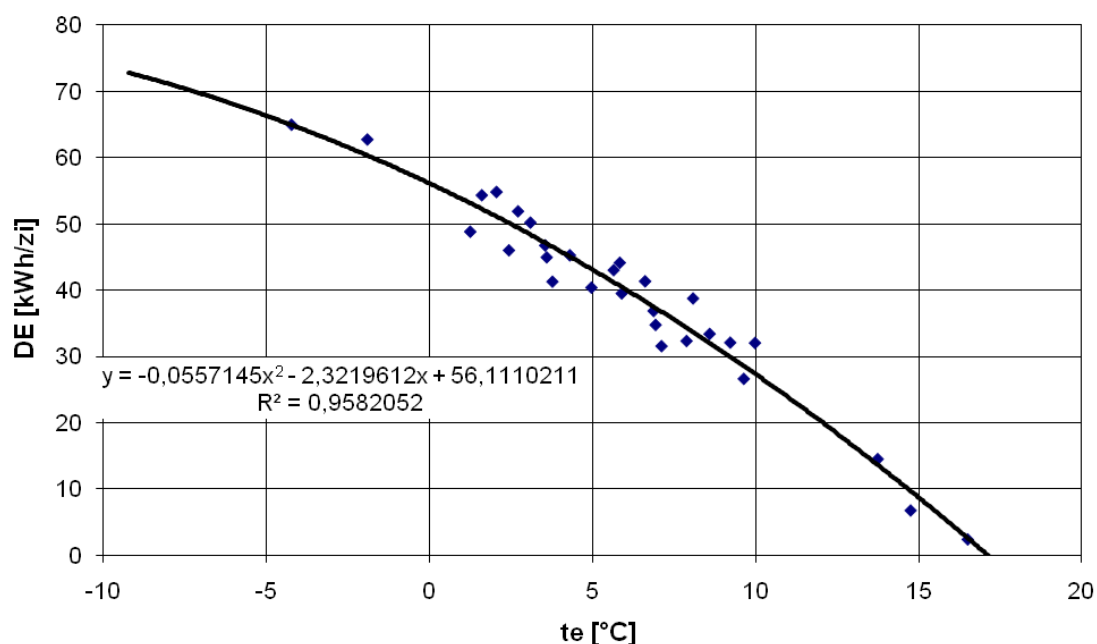


Fig. 4. Daily average power consumption for heating DE [kWh / day] – mean values for 5 consecutive days
(01.09.2008-29.03.2009) (Consum mediu zilnic de energie electrică pentru încălzire DE [kWh / zi] –
valori medii pe 5 zile consecutive (01.09.2008-29.03.2009))

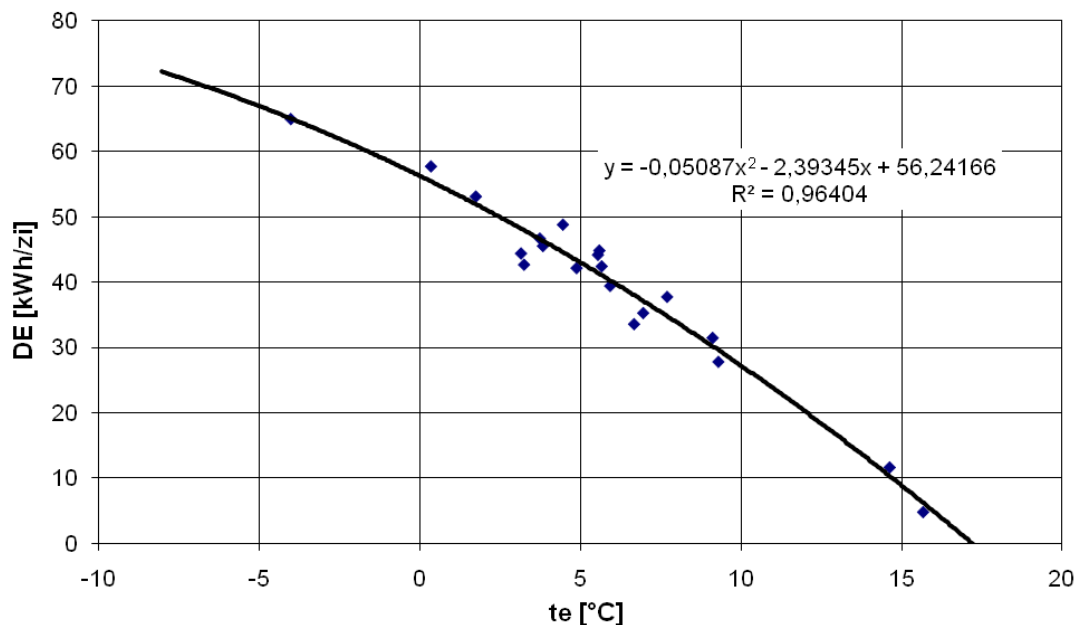


Fig. 5. Daily average power consumption for heating DE [kWh/day] – mean values for 7 consecutive days (01.09.2008-29.03.2009) (Consum mediu zilnic de energie electrică pentru încălzire DE [kWh/zi] – valori medii pe 7 zile consecutive (01.09.2008-29.03.2009))

The curves obtained by interpolating the values of the heat consumption for heating according to the average outdoor temperature may represent, in certain conditions, building energy footprints. Taking into account the minimum duration of the time-lag of averaging the measured values for which the conditions may be considered as of steady-state heat transfer, of 5-7 consecutive days, the curves in figures 4 and 5 may represent building energy footprints for space heating, influenced by the occupation rate and use of the heated spaces (mainly in terms of the heat inputs and the ventilation heat-flow). The heating heat consumption curve according to the average outdoor temperature, for a time-lag of 7 consecutive days is the following:

$$Q_{zi} = -0,05087 \cdot t_e^2 - 2,39345 \cdot t_e + 56,24166, [\text{kWh/zi}] \quad (1)$$

($R^2 = 0,964$)

The building power consumption curve represented by the relation above is *specific to the conditions of the measurements performance*, namely unoccupied heated spaces (low indoor inputs, about 3 W / m²) and a ventilation rate of about 0.6 exchanges / h. Therefore, if an “objective” energy footprint is desired, specific to normal operational conditions of the building, the consumption regression curve depending on the

Curbele obținute prin interpolarea valorilor consumului de căldură pentru încălzire în funcție de temperatura exterioară medie pot constitui, în anumite condiții, amprente energetice ale clădirii. Având în vedere durata minimă a intervalului de mediere a valorilor măsurate pentru care se poate considera regim termic staționar de transfer de căldură de cca. 5-7 zile consecutive, curbele din fig. 4 și 5 se pot constitui în amprente energetice ale clădirii, pentru încălzirea spațiilor și fiind influențate de condițiile de ocupare și utilizare a spațiilor încălzite (cu referire în principal la aporturile de căldură și la debitul de ventilare). Curba de consum de căldură pentru încălzire în funcție de temperatura exterioară medie, pentru perioade de 7 zile consecutive, este următoarea:

Curba de consum de energie al clădirii reprezentată de relația de mai sus *este specifică condițiilor în care s-au desfășurat măsurările*, respectiv neocuparea spațiilor încălzite (aporturi interne reduse, cca. 3 W / m₂) și rata de ventilare de cca. 0,6 sch / h. Prin urmare, dacă se dorește obținerea unei amprente energetice „obiective”, caracteristică unor condiții normale de exploatare a clădirii, curba de regresie a consumului în funcție de

outdoor temperature (1) will be modified by using the reference values of the indoor heat inputs (occupants, domestic electric devices, food preparation, etc.) of about 8 W / m^2 , as well as of the ventilation rate necessary for ensuring the physiological comfort, $0.5\text{-}0.6 \text{ exch. / h}$.

Therefore, the daily average consumption of heat for heating is written, for time-lags of at least 7 consecutive days for which the average indoor and outdoor temperatures are known, $t_a^{(M)}$ and $t_e^{(M)}$ respectively, according to relation (2):

$$Q_{zi}^{(M)} = 0,024 \cdot \left[\left(\frac{S}{R} \right)_C \cdot (t_i^{(M)} - t_e^{(M)}) + 0,334 \cdot n_a \cdot V_{inc} \cdot (t_a^{(M)} - t_e^{(M)}) - a \cdot S_{inc} \right] \quad (2)$$

where: $\left(\frac{S}{R} \right)_C$ is the thermal characteristic of the building envelope [W / K], $V_{inc} = 167.8 \text{ m}^3$ is the building heated volume and $S_{inc} = 59.96 \text{ m}^2$ is the building heated space useful area.

The values of the resulting indoor temperatures, $t_i^{(M)}$, may be calculated in terms of the indoor air temperatures and outdoor average temperatures using relation:

$$t_i^{(M)} = t_e^{(M)} + B_1 \cdot [t_a^{(M)} - t_e^{(M)}] \quad (3)$$

Coefficient B_1 is determined according to the geometric and heat engineering characteristics of the building and for the experimental building and its value is 1.07.

Therefore values $Q_{zi}^{(M)}$ provided by relation (1), by the relation defining the daily heat consumption (2) are used in determining the thermal characteristic of the experimental building envelope:

$$\left(\frac{S}{R} \right)_C = \frac{Q_{zi}^{(M)} - 0,334 \cdot n_a \cdot V_{inc} \cdot (t_a^{(M)} - t_e^{(M)}) + a \cdot S_{inc}}{0,024 \cdot (t_i^{(M)} - t_e^{(M)})} \quad (4)$$

Table 3 shows the values of the building envelope thermal characteristic for the entire period of measurements.

temperatura exterioară (1) trebuie modificată prin utilizarea valorilor de referință ale aporturilor de căldură din surse interne (ocupați, aparate electrocasnice, prepararea hranei etc.) de cca. 8 W / m^2 , respectiv ale ratei de ventilare necesară pentru asigurarea confortului fiziologic, de $0,5\text{-}0,6 \text{ sch / h}$.

Astfel, consumul mediu zilnic de căldură pentru încălzire se scrie, pentru perioade de minim 7 zile consecutive pentru care se cunosc temperaturile interioare medii $t_a^{(M)}$ și exterioare medii $t_e^{(M)}$, conform relației (2):

în care: $\left(\frac{S}{R} \right)_C$ este caracteristica termică a anvelopei clădirii [W / K], $V_{inc} = 167,8 \text{ m}^3$ este volumul încălzit al clădirii, $S_{inc} = 59,96 \text{ m}^2$ este suprafața utilă a spațiului încălzit al clădirii.

Valorile temperaturilor interioare rezultante, $t_i^{(M)}$, pot fi calculate în funcție de temperaturile aerului interior și de temperaturile exterioare medii cu relația:

Coefficientul B_1 se determină în funcție de caracteristicile geometrice și termotehnice ale clădirii și pentru clădirea experimentală are valoarea 1,07.

Prin urmare, cu valorile $Q_{zi}^{(M)}$ cunoscute din relația (1), din relația de definire a consumului de căldură zilnic (2) se determină caracteristica termică a anvelopei clădiei experimentale:

Pentru întreaga perioadă de măsurări valorile caracteristicii termice a anvelopei clădirii se prezintă în tabelul 3.

Table 3.

Mean thermal characteristic of the building envelope

Per	Qday (M) [kWh/day]	te [°C]	tac (M) [°C]	Qe (te) [kWh/zi]	tic med [°C]	(S / R) _e [W/K]
1	33,6	6,7	24,73	38,01	22,28	76,83
2	39,4	5,9	24,73	40,27	21,99	79,47
3	44,4	3,1	24,71	48,21	21,65	82,01
4	44,2	5,5	24,63	41,41	21,74	81,40
5	42,2	4,9	24,53	43,36	21,75	81,49
6	48,8	4,5	24,44	44,58	21,57	82,80
7	42,4	5,7	24,42	41,07	21,78	81,11
8	64,9	-4,0	24,38	65,07	20,64	80,86
9	57,7	0,3	24,38	55,43	21,00	84,22
10	44,9	5,6	24,40	41,28	21,54	82,87
11	46,7	3,7	24,44	46,60	21,39	83,91
12	37,8	7,7	24,48	34,80	21,90	78,61
13	42,7	3,2	24,52	47,95	21,51	82,94
14	53,1	1,7	24,45	51,93	21,17	84,34
15	45,6	3,8	24,38	46,33	21,53	82,97
16	31,5	9,1	24,32	30,18	22,29	73,00
17	35,3	7,0	24,26	37,14	22,07	78,12
18	27,9	9,3	24,22	29,59	22,39	71,77

The mean value $\left(\frac{S}{R}\right)_C = 80,48 \text{ W/K}$ results,

as well as the mean square deviation of the values calculated in terms of the average value, $\sigma = 0,0106$.

The energy footprint is assessed as an objective function of the experimental building considering the normal values of the resulting indoor temperature $t_i = 20^\circ\text{C}$, of the ventilation rate $n_a = 0,5 \text{ exch/h}$ and of the flow resulted from the indoor inputs, $a = 8 \text{ W/m}^2$ and is represented in fig. 6 as the mean daily power consumption for heating, in fig. 7 as the mean heat flow necessary for the energy source in space heating. The experimentally settled curves in the season 2008-2009 for the building equipped with a solar space are represented together with the curves settled in the season 2003-2004 (previous to the equipping of the building with a ventilated solar space).

Rezultă valoarea medie $\left(\frac{S}{R}\right)_C = 80,48 \text{ W/K}$

și abaterea medie pătratică a valorilor calculate în raport cu valoarea medie $\sigma = 0,0106$.

Amprenta energetică se determină ca funcție obiectivă a clădirii experimentale ținând seama de valorile normale ale temperaturii interioare rezultante $t_i = 20^\circ\text{C}$, ale ratei ventilării $n_a = 0,5 \text{ sch/h}$ și ale fluxului datorat aporturilor interne, $a = 8 \text{ W/m}^2$ și este reprezentată în fig. 6 sub forma consumului mediu zilnic de energie pentru încălzire, respectiv în fig. 7 sub forma fluxului termic mediu necesar la nivelul sursei de energie pentru încălzirea spațiilor.

Curbele determinate experimental în sezonul 2008-2009 pentru clădirea dotată cu spațiu solar sunt reprezentate alături de curbele determinate în sezonul 2003-2004 (anterior dotării clădirii cu spațiul solar ventilat).

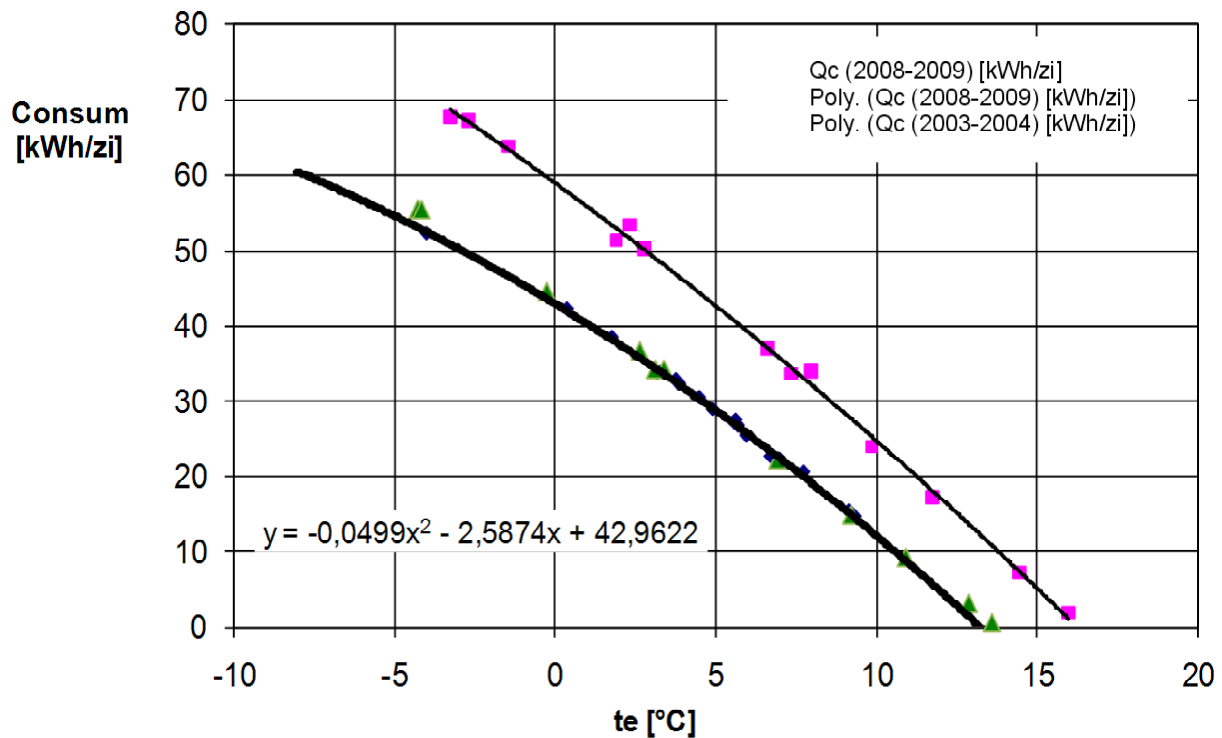


Fig. 6. Experimental building energy footprint – Q_{day} [kWh / day] – for time-lags of at least 7 consecutive days (mean daily heat consumption) (Amprenta energetică a clădirii experimentale – Q_{zi} [kWh / zi] – pentru perioade de minim 7 zile consecutive (consum de căldură mediu zilnic))

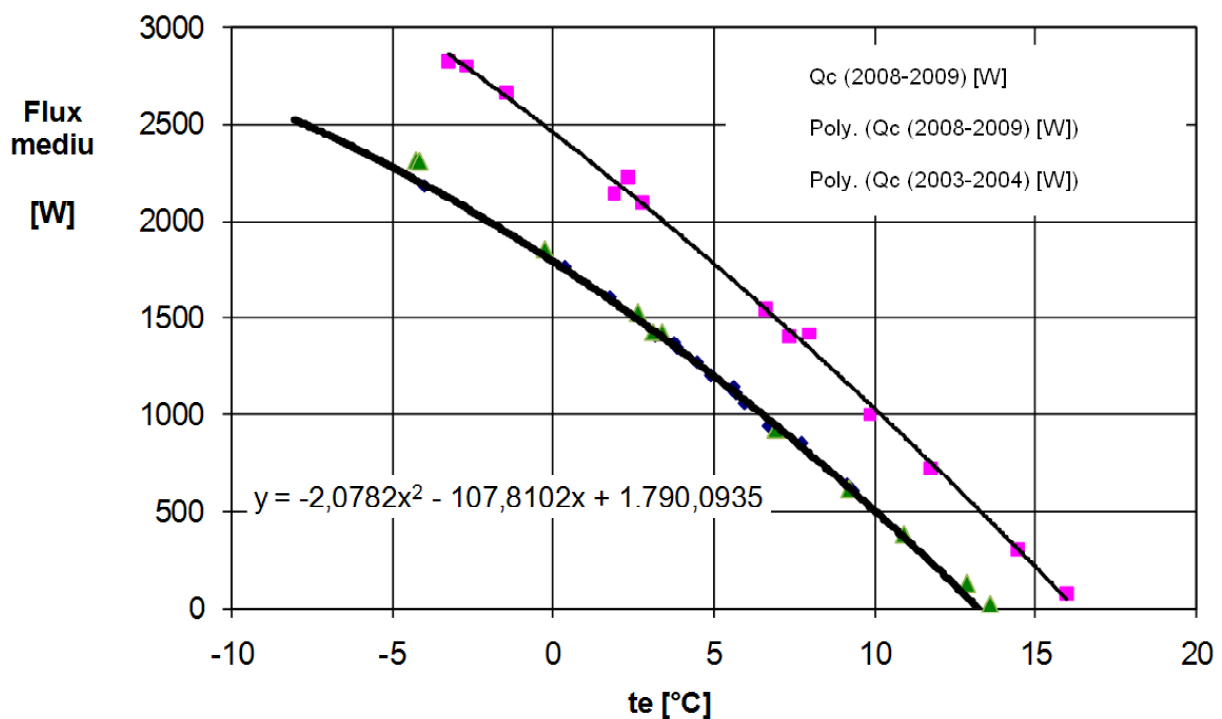


Fig. 7. Experimental building energy footprint – $\dot{Q}$ [W] – for time-lags of at least 7 consecutive days (mean heat flow) (Amprenta energetică a clădirii experimentale – $\dot{Q}$ [W] – pentru perioade de minim 7 zile consecutive (flux termic mediu))

5. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY USED IN PROCESSING THE DATA MEASURED ON THE ENERGY MONITORING SYSTEM OF CONDOMINIUMS – EPB OPERATIONAL METHOD FUNDAMENTALS

This method is based on the setting up of a data base with two modules heaving the following functions:

M1. Module for collecting the primary measured data

The primary data are values of the heat carrier inlet / outlet temperatures at the building connection, of the heat consumption for the heating spaces, of the temperatures of the building sub-areas temperatures (technical basement, staircase, attics, etc.) and of the outdoor temperature.

M2. Module for “Measured data primary processing”

The primary processing means the assessing of mean values for time-lags of at least 240 h, as follows:

$\bar{t}_{TM,k}^{(0)}$ – heat carrier mean temperature value at the building inlet, in the k time-lag [°C];

$\bar{t}_{RM,k}^{(0)}$ – heat carrier mean temperature at the building outlet, in the k time-lag [°C];

$\bar{Q}_{M,k}$ – mean heat flow-rate supplied to the building [W];

$\bar{t}_{ek}$ – outdoor mean temperature, [°C];

$\bar{t}_{sb,k}$ – technical basement mean temperature, [°C];

$\bar{t}_{cs,k}$ – mean temperature of the staircase space (obtained as an average of three values measured in three places on the height of the staircase space, one of which is on the level of the neutral axis of the building), [°C].

Subsequent to the subjective operations of adjusting the temperature in the building main spaces, the flow-rate of the heat carrier flown in the heating units varies in time. If the secondary area represented

5. FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A METODOLOGIEI DE PRELUCRARE A DATELOR MĂSURATE LA NIVELUL SISTEMULUI DE MONITORIZARE ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR DE LOCUIT DE TIP CONDOMINIU

Metoda se bazează pe constituirea unei baze de date cu două module având următoarele funcțiuni:

M1. Modulul de culegere a datelor primare măsurate

Datele primare sunt valori ale temperaturilor de ducere / întoarcere ale agentului termic la racordul clădirii, ale consumului de căldură pe partea de încălzire a spațiilor, ale temperaturilor subzonelor secundare ale clădirii (subsol tehnic, casa scărilor, pod etc.) și ale temperaturii exterioare.

M2. Modulul „Prelucrarea datelor măsurate”

Prelucrarea primară constă în determinarea valorilor medii pe intervale de timp de minim 240 h, după cum urmează:

$\bar{t}_{TM,k}^{(0)}$ – temperatura medie a agentului termic la intrarea în clădire, în intervalul de timp k, [°C];

$\bar{t}_{RM,k}^{(0)}$ – temperatura medie a agentului termic la ieșirea din clădire, în intervalul de timp k, [°C];

$\bar{Q}_{M,k}$ – debitul mediu de căldură furnizată clădirii, [W];

$\bar{t}_{ek}$ – temperatura exterioară medie, [°C];

$\bar{t}_{sb,k}$ – temperatura medie a subsolului tehnic, [°C];

$\bar{t}_{cs,k}$ – temperatura medie a spațiului casei scărilor (se obține ca medie a minimum trei valori măsurate în trei puncte amplasate pe înălțimea spațiului casei scărilor din care unul în planul axei neutre a clădirii), [°C].

Ca urmare a manevrelor subiective de reglare a temperaturii în spațiile zonei principale a clădirii, debitul de agent termic vehiculat în corpurile de încălzire variază în timp. În cazul în care zona

by the staircase is equipped with a heating system, its specific heat carrier flow-rate is actually constant and equal to the following value:

$$G_{cs} = \frac{Q_0}{(t_{T0} - t_{R0}) \cdot c} \cdot \frac{S_{Ecs}}{S_E} \quad (5)$$

where: Q_0 – building design heat demand, [W]; t_{T0} , t_{R0} – heat carrier design temperatures [$^{\circ}\text{C}$]; c – heat carrier mass specific heat, [J / kgK]; S_E – thermally equivalent area of the building heating units, [m^2]; S_{Ecs} – thermally equivalent area of the heating units in the staircase space, [m^2].

The resulting mean value for the k time-lag of the heat carrier flow-rate flown in the main area heating units is the mean of the values variable in time, different from the rated value and is determined by the following relation:

secundară casă scărilor este dotată cu instalație de încălzire, debitul de agent termic specific acestuia se menține practic constant și egal cu valoarea:

în care: Q_0 – necesarul de căldură de calcul al clădirii, [W]; t_{T0} , t_{R0} – temperaturile de calcul ale agentului termic, [$^{\circ}\text{C}$]; c – căldura specifică masică a agentului termic, [J / kgK]; S_E – suprafața echivalentă termic a corpurilor de încălzire din clădire, [m^2]; S_{Ecs} – suprafața echivalentă termic a corpurilor de încălzire din spațiul casei scărilor, [m^2].

Rezultă că valoarea medie, pe intervalul de timp k , a debitului de agent termic vehiculat prin corpurile de încălzire ale zonei principale, rezulta ca medie a valorilor variabile în timp, diferite de valoarea nominală și se determină din relația:

$$\bar{G}_{ZP,k} \cdot c = \dot{A} \cdot Q_{0ZP} \cdot \left(\frac{\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{Ri,k}}{\ln \frac{\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{a,k}}{\bar{t}_{Ri,k} - \bar{t}_{a,k}}} \right)^{1+m} \cdot (\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{Ri,k})^{-1}, \quad (6)$$

and the mean heat flow-rate specific to the main area is determined by relation:

iar debitul de căldură mediu propriu zonei principale se determină cu relația:

$$\bar{Q}_{ZP,k} = \dot{A} \cdot Q_{0ZP} \cdot \left(\frac{\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{Ri,k}}{\ln \frac{\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{a,k}}{\bar{t}_{Ri,k} - \bar{t}_{a,k}}} \right)^{1+m} \quad (7)$$

For a value a_k typical for dwelling, the mean hourly value in the k time-lag, the mean ventilation rate of the building main area is determined using the heat balance equation:

Pentru o valoare a_k tipică locuirii, valoare medie orară pe intervalul k , se determină rata medie de ventilare a zonei principale a clădirii, n_{ak} , din ecuația de bilanț termic:

$$c_s \cdot \left(\frac{S_E}{R} \right)_{ZP} \cdot (\bar{t}_{ik} - \bar{t}_{ek}) + n_{ak} \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot (\bar{t}_{a,k} - \bar{t}_{ek}) + \frac{S_{PL}}{R_{PL}} \cdot (\bar{t}_{ik} - \bar{t}_{sb,k}) + \frac{S_{cs}}{R_{cs}} \cdot (\bar{t}_{ik} - \bar{t}_{cs,k}) - a_k \cdot S_{LOC} = \bar{Q}_{ZP,k} \quad (8)$$

where the c_s numeric coefficient is provided by the analysis of the solar radiation on the dynamic thermal response of the opaque and transparent closing structures. According to [1]:

în care coeficientul numeric c_s se obține prin analiza influenței radiației solare asupra răspunsului termic dinamic al structurilor de închidere opace și transparente. Conform [1]:

$$c_s = 1 - \frac{0,035 \cdot \left[\left(\frac{S}{R} \right)_{Pe} + \left(\frac{S}{R} \right)_T \right] + 0,21 \cdot S_F}{\left(\frac{S}{R} \right)_{Pe} + \left(\frac{S}{R} \right)_T + \left(\frac{S}{R} \right)_F} \cdot f(\bar{t}_{e,k}) \quad (9)$$

where:

în care:

$$f(\bar{t}_{e,k}) = 0,01517 \cdot \bar{t}_{e,k}^3 - 0,1375 \cdot \bar{t}_{e,k}^2 + 0,4213 \cdot \bar{t}_{e,k} + 3,136 \quad (10)$$

The variation function: $\frac{\bar{I}_{T,k}}{t_i - \bar{t}_{e,k}} = f(\bar{t}_{e,k})$ is

Funcția de variație: $\frac{\bar{I}_{T,k}}{t_i - \bar{t}_{e,k}} = f(\bar{t}_{e,k})$ se

presented in the diagram in Figure 8.

prezintă în graficul din fig. 8.

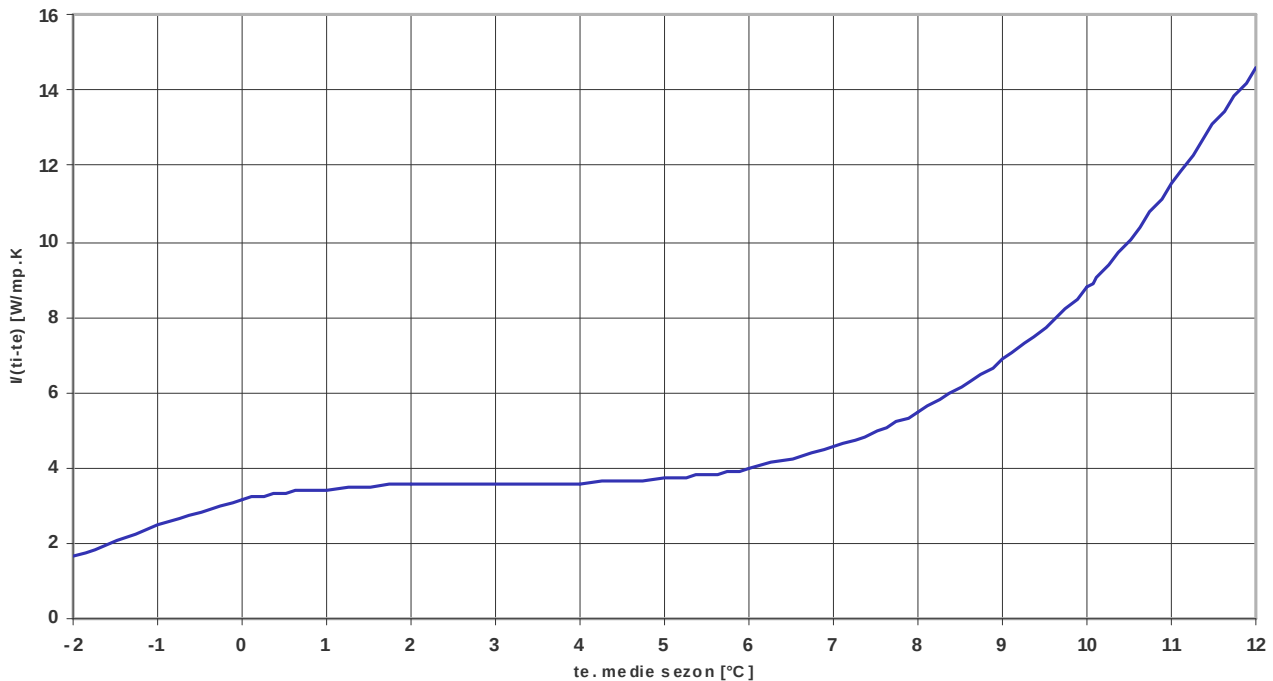


Fig. 8. Solar radiation index of use [1] (Solar radiation index of use [1])

It is noticed that for temperature $\bar{t}_e < 5^\circ \text{C}$ the following **single value** may be used, with an acceptable approximation degree:

$$\frac{\bar{I}_{T,k}}{t_i - \bar{t}_{e,k}} \approx 3,6$$

Therefore the simplified relation for determining the c_s dimensionless coefficient becomes:

Se constată că pentru temperatura $\bar{t}_e < 5^\circ \text{C}$ se poate utiliza, cu un grad acceptabil de aproximare, **valoarea unică**:

$$\frac{\bar{I}_{T,k}}{t_i - \bar{t}_{e,k}} \approx 3,6$$

astfel încât relația simplificată de determinare a coeficientului adimensional C_s devine:

$$c_s = 1 - \frac{0,127 \cdot \left[\left(\frac{S}{R} \right)_{Pe} + \left(\frac{S}{R} \right)_T \right] + 0,781 \cdot S_F}{\left(\frac{S}{R} \right)_{Pe} + \left(\frac{S}{R} \right)_T + \left(\frac{S}{R} \right)_F} \quad (11)$$

The mean monthly values of the heat carrier temperatures at the connection between the basement horizontal distribution and the columns supplying heat to the over-ground zones, $\bar{t}_{Ti,k}$ and $\bar{t}_{Ri,k}$ are obtained by the relations:

$$\bar{t}_{Ti,k} = \bar{t}_{sb,k} + (\bar{t}_{TM,k}^{(0)} - \bar{t}_{sb,k}) \exp \left(-\pi \cdot A \cdot \frac{\dot{Q}_{M,k}}{\bar{t}_{TM,k}^{(0)} - \bar{t}_{RM,k}^{(0)}} \right) \quad (12)$$

$$\bar{t}_{Ri,k} = \bar{t}_{sb,k} + (\bar{t}_{RM,k}^{(0)} - \bar{t}_{sb,k}) \exp \left(\pi \cdot A \cdot \frac{\dot{Q}_{M,k}}{\bar{t}_{TM,k}^{(0)} - \bar{t}_{RM,k}^{(0)}} \right) \quad (13)$$

where all the values are provided by measurements.

The mean air temperatures in the main area spaces, $\bar{t}_{a,k}$ are determined by relation:

$$\bar{t}_{a,k} = \frac{E_k \cdot \bar{t}_{Ri,k} - \bar{t}_{Ti,k}}{E_k - 1} \quad (14)$$

where:

$$E_k = \exp \left[(\bar{t}_{Ti,k} - \bar{t}_{Ri,k}) \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{M,k}}{A \cdot q_0 \cdot S_R} \right)^{\frac{1}{1+m}} \right] \quad (15)$$

The mean resulting indoor temperature of the main area, in the k time-lag is determined by the following equation:

$$\bar{t}_{i,k} = \bar{t}_{a,k} \cdot B_1^{-1} + \bar{t}_{ev,k} (\bar{t}_{i,k}) \cdot B_1^{-1} \cdot (B_1 - 1) \quad (16)$$

where:

$$B_1 = 1 + \frac{\alpha_r \cdot F_R}{\alpha_i \cdot \alpha_{cv} \cdot \bar{R}} \quad (17)$$

The mean virtual outdoor temperature $\bar{t}_{ev,k}$ of the main zone in the k time-lag is determined according to the temperatures of the built environments adjoining the main zone, $\bar{t}_{cs,k}$, $\bar{t}_{sb,k}$, to the virtual outdoor temperature specific to the natural environment, $\bar{t}_{E,k}$ and to the thermal coupling coefficients specific to the envelope of the building main zone, with reference to the adjoining areas, namely the staircase, the technical basement and the outside envelope, opaque and transparent elements. The following calculation relation results:

Valorile medii lunare ale temperaturilor agentului termic la racordul dintre distribuția orizontală din subsol și coloanele de alimentare cu căldură ale zonelor supraterrane, $\bar{t}_{Ti,k}$ și $\bar{t}_{Ri,k}$ se determină cu relațiile:

în care toate valorile provin din măsurări.

Valorile temperaturii medii a aerului spațiilor din zona principală $\bar{t}_{a,k}$ se determină cu relația:

Temperatura interioară rezultantă medie a zonei principale, pe intervalul de timp k se determină din ecuația:

Temperatura exterioară virtuală medie, $\bar{t}_{ev,k}$ a zonei principale pe intervalul de timp k , se determină în funcție de temperaturile mediilor construite adiacente zonei principale, $\bar{t}_{cs,k}$, $\bar{t}_{sb,k}$, de temperatura exterioară virtuală proprie mediului exterior natural, $\bar{t}_{E,k}$ și de coeficienții de cuplaj termic proprii anvelopei zonei principale a clădirii, cu referire la zonele adiacente, respectiv casa scărilor, subsol tehnic și anvelopa exterioară, elemente opace și transparente. Rezultă relația de calcul:

$$\bar{t}_{ev,k} = \frac{\frac{S_E}{R} \cdot \bar{t}_{E,k} + \frac{S_{sb}}{R_{sb}} \cdot \bar{t}_{sb,k} + \frac{S_{cs}}{R_{cs}} \cdot \bar{t}_{cs,k}}{\frac{S_E}{R} + \frac{S_{sb}}{R_{sb}} + \frac{S_{cs}}{R_{cs}}} \quad (18)$$

where:

în care:

$$\bar{t}_{E,k} = \bar{t}_{i,k} \cdot (1 - c_s) + \bar{t}_{e,k} \cdot c_s \quad (19)$$

Therefore, as concerns the k time-lag, values $\bar{Q}_{M,k}$, $\bar{t}_{ik}$, n_{ak} , a_k are known, which particularize the building response to the climatic and anthropic loads following the heating system intervention. Values $\bar{t}_{ik}$, $\bar{t}_{sb,k}$, $\bar{t}_{cs,k}$, n_{ak} are specific to the operation of the building – heating system assembly in the climatic conditions specific to the k time-lag.

Additionally, the mean values of the mass flow-rate / heat carrier volume $\bar{G}_{M,k}$ [kg / s]; [m³ / s] may also be taken over and determined. All this data is stored in the MAP (Monitoring and Adjustment Point) module Data Base equipping the connection of the buildings heating systems.

The physical parameters useful in determining the building energy footprint type characteristic are processed in the **M2.EI** sub-module of M2 module.

M2.EI. Comparison and equating parameters

The assessment of EI and of EPB equating value is an issue related to the one specific to MP 2 module and is represented by the assessment of the Energy Performance of Buildings in the conditions of a representative climate (representative climatic year [2]) for k time-lag, namely $\bar{t}_{ek}^{(0)}$, in order to achieve the state parameters $\bar{t}_{ik}$ and n_{ak} assessed by measurements. Therefore $\bar{t}_{sb,k}^{(0)}$, $\bar{t}_{cs,k}^{(0)}$ and $\bar{Q}_k^{(0)}$ are assessed for the same value $\bar{t}_{TM,k}^{(0)}$ (equal to the measured one) and for value $\bar{t}_{T,k}^{(0)}$ respectively, specific to the qualitative adjustment curve of the building under analysis.

The unknown values are determined from the heat balance equations specific to the spaces in the

Prin urmare pentru intervalul de timp k se cunosc valorile $\bar{Q}_{M,k}$, $\bar{t}_{ik}$, n_{ak} , a_k , care particularizează răspunsul clădirii la solicitările climatice și antropice ca urmare a intervenției sistemului de încălzire. Valorile $\bar{t}_{ik}$, $\bar{t}_{sb,k}$, $\bar{t}_{cs,k}$, n_{ak} sunt specifice funcționării ansamblului clădire-instalație de încălzire în condițiile climatice proprii intervalului k .

Suplimentar se pot prelua și determina și valorile medii ale debitului masic / volumic de agent termic $\bar{G}_{M,k}$ [kg / s]; [m³ / s]. Toate aceste date se stochează în Baza de Date ale modului de tip PMR (Punct de Monitorizare și Reglare) din dotarea racordului instalațiilor de încălzire ale clădirilor.

Parametrii fizici utili determinării caracteristicii de tip amprentă energetică a clădirii se prelucrează în submodulul **M2.AE** al modului M2.

M2.AE Parametri de comparație și raportare

Determinarea AE și a valorii PEC de raportare este o problemă conexă celei proprii modului MP2 și este reprezentată de determinarea Performanței Energetice a Clădirii în condiții de climă reprezentativă (an climatic tip [2]) pentru intervalul k , respectiv $\bar{t}_{ek}^{(0)}$, pentru realizarea parametrilor de stare $\bar{t}_{ik}$ și n_{ak} evaluați din măsurări. Prin urmare se evaluează $\bar{t}_{sb,k}^{(0)}$, $\bar{t}_{cs,k}^{(0)}$ și $\bar{Q}_k^{(0)}$ pentru aceeași valoare $\bar{t}_{TM,k}^{(0)}$ (egală cu cea măsurată), respectiv pentru valoarea $\bar{t}_{T,k}^{(0)}$ proprie curbei de reglaj calitativ a clădirii analizate.

Valorile necunoscute se determină din ecuațiile de bilanț termic proprii spațiilor din zonele secundare

secondary zones in terms of the values that are known [3]. The $\bar{t}_{R,k}^{(0)}$ outlet temperature is provided by the heat balance equation of the heating units in the main zone of the building, associated with the known value of the main zone heat demand.

Finally, an equation system with two unknown values results: $\bar{G}_{ZP,k}$ and $\bar{t}_{R,k}^{(0)}$, and $\bar{Q}_k^{(0)}$ is determined, which represents a dimension quoted in association with the representative climatic year. The normal value $\bar{Q}_{k,n}$ is similarly determined; it is associated with the normal dwelling condition, $(\bar{t}_{i0}, \bar{n}_{a0})$. All the resulted values allow considerations / comparisons concerning the real energy class of the building during the k time-lag and at the heating system operational parameters, of the occupied spaces respectively.

The software and the data base are specific to each building and the output dimensions / values may be accessed by an intranet secure system.

6. CONCLUSIONS

The measurements were carried out in the 2008-2009 cold season since September 2008 until the end of March 2009 on the support of the CE INCERC Bucharest experimental building.

The measurement chain consists of three data acquisition systems: one for monitoring 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 INCERC experimental building is monitored by means of a complex data acquisition system in view of determining the thermodynamic parameters necessary in the assessment of the energy performance in real operational conditions, by long-term measurements.

In order to determine the building energy footprint, 153 days were selected, covering sequences of at least 5 consecutive days. The data continuously measured (temperatures and solar radiation intensities) were processed as daily mean values specific to monthly periods.

The measured data were processed based on determining the daily and monthly mean / average

în funcție de valorile cunoscute [3]. Temperatura de retur $\bar{t}_{R,k}^{(0)}$ se determină din ecuația de bilanț termic a corpurilor de încălzire din zona principală a clădirii, asociată cu valoarea cunoscută a necesarului de căldură al zonei principale.

În final rezultă un sistem de ecuații cu două necunoscute: $\bar{G}_{ZP,k}$, respectiv $\bar{t}_{R,k}^{(0)}$, și se determină $\bar{Q}_k^{(0)}$ care se constituie în mărime care se raportează prin asociere cu anul climatic reprezentativ. În mod similar se determină și valoarea normală $\bar{Q}_{k,n}$, asociată condiției normale de locuire $(\bar{t}_{i0}, \bar{n}_{a0})$. Toate valorile rezultate permit aprecieri / raportări cu privire la încadrarea în clasa energetică reală a clădirii în intervalul k și la parametri funcționali ai sistemului de încălzire, respectiv ai spațiilor ocupate.

Programul de calcul și baza de date sunt specifice fiecărei clădiri, iar mărimile de ieșire pot fi accesate într-un sistem securizat de tip intranet.

6. CONCLUZII

Măsurările s-au desfășurat în sezonul rece 2008-2009 începând din luna septembrie 2008 până la finele lunii martie 2009, pe suportul clădirii experimentale CE INCERC București.

Lanțul de măsurare utilizat se compune din trei sisteme de achiziție a datelor: primul pentru monitorizarea 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. Monitorizarea clădirii experimentale INCERC se realizează prin intermediul unui sistem de achiziție de date complex în vederea determinării parametrilor termodinamici necesari evaluării performanței energetice în condiții reale de funcționare, prin măsurări de lungă durată.

Pentru determinarea amprenteii energetice a clădirii au fost selectate 153 de zile formate din secvențe de minim 5 zile consecutive. Datele măsurate continuu (temperaturi și intensități ale radiației solare) au fost prelucrate sub forma mediilor zilnice și specifice intervalelor lunare.

Prelucrarea datelor măsurate se axează pe determinarea valorilor medii zilnice și lunare (sau

values (or sub-monthly periods longer than 5 consecutive days) of the determining parameters, namely: t_e , $t_{aer.int}$, $t_{aer.sera}$, $t_{Perete\ captator}$, heat consumption [kWh / month], greenhouse air flow-rate [m^3 / h], solar radiation intensity. The curve of the heat consumption for heating according to the average outdoor temperature, for periods of 7 consecutive days is provided by relation (1); the high correlation rate is noticed which confirms the natural laws-bound nature of the function obtained.

The energy consumption curve of the building represented by the relation above is *specific to the conditions in which the measurements were performed*, namely heated space non-occupation (reduced indoor inputs, about 3 W / m) and a ventilation rate of about 0.6 exchanges / h.

The result provided by the measured data was used in developing a measured data processing method in view of obtaining the Energy Performance Certificate of a condominium, if it is equipped with a primary data acquisition system the structure of which is presented in the report. This method is supported by a data base with two modules meant to the acquisition of the measured primary data and to measured data processing respectively. This report presents the theoretical substantiation of the operational method that is developed.

REFERENCES

- [1] * * * European Directive 91 / 2002 / CE
- [2] * * * European Directive 31 / 2010 / UE
- [3] * * * *Diversification of Buildings Energy Referentials* – Contract no. 338 / 2008 INCERC-MDRL (Ministry of Regional Development and Housing)
- [4] Constantinescu, D., Petran, H., Petcu, Cr. – *Energy Performance of New and Existing Buildings – Theoretical Substantiation*, Publishing House of the Architecture and Urban Planning University “Ion Mincu” – UAUM, Bucharest, 2009 (pp. 235-241)
- [5] * * * *Determination of Representative Climatic Parameters for Romania* – Contract no. 342 / 2008 INCERC-MDRL
- [6] Constantinescu, D. – *Heat Engineering Treatise. Heat Engineering in Construction*, Vol. 1, Editura AGIR, Bucharest, 2008 (pp. 114-143, 229 -240)

intervale sublunare mai lungi de 5 zile consecutive) ale parametrilor determinanți, respectiv: t_e , $t_{aer.int}$, $t_{aer.sera}$, $t_{Perete\ captator}$, consumul căldură [kWh / lună], debit aer seră [m^3 / h], intensitatea radiației solare. Curba de consum de căldură pentru încălzire în funcție de temperatura exterioară medie, pentru perioade de 7 zile consecutive, este dată de relația (1) și se remarcă gradul ridicat de corelare, fapt care atestă caracterul logic al funcției obținute.

Curba de consum de energie al clădirii reprezentată de relația de mai sus este *specifică condițiilor în care s-au desfășurat măsurările*, respectiv neocuparea spațiilor încălzite (aporturi interne reduse, cca. 3 W / m) și rata de ventilare de cca. 0,6 sch / h.

Pe baza rezultatului furnizat de prelucrare a datelor măsurate s-a dezvoltat o metodă de prelucrare a datelor măsurate în scopul obținerii Certificatului de Performanță Energetică al unei clădiri de tip condominiu, cu condiția ca aceasta să fie dotată cu un sistem de culegere a datelor primare a cărui structură se prezintă în lucrare. Metoda se bazează pe constituirea unei baze de date cu două module având funcțiuni de culegere a datelor primare măsurate și de prelucrare a datelor măsurate. Lucrarea prezintă fundamentarea teoretică a metodei operaționale dezvoltate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] * * * Directiva europeană 91 / 2002 / CE
- [2] * * * Directiva europeană 31 / 2010 / UE
- [3] * * * *Diversificarea referențialelor energetice ale clădirilor* – contr. nr. 338 / 2008 INCERC-MDRL
- [4] Constantinescu, D., Petran, H., Petcu, Cr. – *Performanța Energetică a Clădirilor noi și existente – Fundamentare teoretică*, Editura Facultății de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu” – UAUM, București, 2009 (p. 235-241)
- [5] * * * *Determinarea parametrilor climatici reprezentativi pentru România* – contr. nr. 342 / 2008 INCERC – MDRL
- [6] Constantinescu, D. – *Tratat de inginerie termică. Termotehnica în construcții*, Vol. 1, Editura AGIR, București, 2008 (p. 114-143, 229 -240)