

VERIFICAREA CONDIȚIILOR DE MICROCLIMAT DIN SPAȚIILE LOCUITE, ÎN SEZONUL CALD ȘI DETERMINAREA NECESARULUI DE FRIG

Dan CONSTANTINESCU¹, Horia PETRAN¹, Cristian PETCU¹

REZUMAT

În lucrare se prezintă succesiunea de proceduri necesară determinării variației temperaturilor interioare reprezentative (t_i , t_a) în zilele sezonului cald, atât în clădiri existente, cât și în clădiri noi. În cazul clădirilor nou proiectate, încă în faza de proiectare simularea variației $t_i(t)$ și $t_a(t)$ constituie o etapă de verificare a performanței energetice a clădirii. Pentru clădirile existente se prezintă algoritmul de tip Predictor-Corector, care permite determinarea rezistențelor termice corectate ale elementelor de construcție opace. Modelul utilizat este de tip bi-zonal, cu o zonă principală a spațiilor locuite și o zonă secundară a anexelor. Analiza în cazul clădirilor colective impune simularea sub forma unui model multizonal rezolvabil prin metoda Runge-Kutta de ordinul patru. Elementul de bază al modelului de simulare îl constituie determinarea variației temperaturii exterioare virtuale a elementelor de construcție perimetrale. Variația $t_{ev}(t)$ se determină fie pe baza programului de calcul INVAR, fie pe baza răspunsului termic al unei structuri constructive reprezentative. Lucrarea conține modele de calcul absolut necesare etapei de proiectare pentru clădirile noi și la fel de necesare activității de reabilitare energetică a celor existente. Procedurile prezentate reprezintă noutăți în literatura de specialitate, motiv pentru care autorii au detaliat elementele de calcul până la nivel de metodă de rezolvare.

Cuvinte cheie: simularea microclimatului spațiilor ocupate, confort termic, performanță energetică

ABSTRACT

This paper presents the algorithm used in order to determine the representative temperatures variation (t_i , t_a) in the hot season for existing and new buildings. For new buildings, the simulation of $t_i(t)$ and $t_a(t)$ variation from the planning phase is a verification stage for the building energy performance. In order to determine the corrected thermal resistance of opaque building elements of the existing buildings is presented a recursive prediction-error algorithm. The mathematical model is bi-zone with a main area for the living area and a secondary zone. The analysis of condominium buildings could be done by solving a multi-zone model with order four Runge-Kutta method. The main element of the simulation model is the estimation of the exterior virtual temperature for the building envelope elements. The $t_{ev}(t)$ variation is determined using the INVAR software or the thermal response of the building structure. This paper presents an algorithm absolutely necessary for the new buildings in the planning phase and for the existing buildings, subject of the thermal rehabilitation. The algorithm is a novelty in specialized literature; therefore the authors had explained the calculus procedure as detailed as a resolving method phase.

Keywords: building simulation, thermal comfort, energy performance

¹National Building Research Institute – INCERC Bucharest, E-mail: dan.constantinescu@incerc2004.ro; hp@incerc2004.ro; cpetcu@incerc2004.ro

Introducere

Variația temperaturii interioare rezultante și a temperaturii medii volumice a aerului [1] din incintele locuite, în sezonul cald, se impune ca una din activitățile proprii determinării performanței energetice a clădirilor existente [2].

Actualele criterii de stabilitate termică a clădirilor nu pun în evidență variația parametrilor termodinamici intensivi și extensivi caracteristici spațiilor ocupate în sezonul cald [3]. Prescripțiile tehnice autohtone care determină așa numitele “aporturi” de căldură din exterior” [4] se bazează pe o metodă de calcul care este specifică mediilor semiinfinite și prin urmare fizic diferite de structura elementelor de închidere a clădirilor reale (metoda Sklover). Pe de altă parte, parametrii caracteristici elementelor de închidere se consideră a fi identici cu cei ai materialelor de construcție ignorând influența perturbațiilor de tip punte termică care deformează fundamental răspunsul termic al elementelor de închidere exterioare. În cazul clădirilor existente se pun în evidență chiar modificări ale proprietăților termofizice ale materialelor de construcție, astfel încât utilizarea valorilor de catalog este o procedură improprie analizelor specifice proceselor de transfer de proprietate. Sensul modificării proprietăților termofizice în raport cu valorile de catalog constituie o preocupare deosebit de importantă cunoscută sub numele de identificare a caracteristicilor termice ale clădirilor existente. Mingsheng și Claridge [5] arată că în anumite cazuri caracteristica termică reală poate fi inferioară celei de proiect. Studii realizate prin măsurări în condiții “in vitro” și “in situ” de Reeves [6], Fisher [7] și Judkoff [8] pun în evidență valori (UA_p/UA_M) cuprinse între 1,10 și 5,12. Rezultă prin urmare că identificarea caracteristicilor termice reale ale clădirilor existente este o operațiune absolut necesară în scopul determinării răspunsului termic al elementelor de închidere, pe ansamblul acestora. Cele mai cunoscute metode prezentate în literatură sunt cele având ca autor pe Penman [9] precum și metoda Co-Heating Method [10]. Metodele ignoră caracterul nestaționar al transferului de căldură prin elementele de închidere.

Ca o noutate în domeniu Constantinescu ș.a. [11] prezintă o metodă de tip “modelare inversă” bazată pe cunoașterea prin măsurări a debitului de căldură necesar realizării unui microclimat stabil în spațiile ocupate.

Cunoașterea caracteristicilor termice reale ale elementelor de închidere ale clădirilor existente permite aplicarea metodei RTU [12] și algoritmului de calcul care face obiectul programului de calcul INVAR [13]. Parametrul termodinamic esențial necesar analizei în regim variabil a structurilor de tip multizonal (clădiri reale compartimentate în zone delimitate geometric) îl constituie temperatura exterioară virtuală [14].

Lucrarea de față reprezintă o incursiune metodologică în analiza proceselor de transfer de căldură caracteristice clădirilor existente în sezonul cald. Scopul este dublu, respectiv determinarea evoluției $t_i(t)$, $t_a(t)$ în cazul lipsei climatizării clădirilor și determinarea variației fluxului termic caracteristic elementelor de închidere opace în cazul în care se impune realizarea unei temperaturi interioare constante t_{i0} , în sezonul cald. Verificarea $t_i(t)$, $t_a(t)$ se impune în egală măsură și în activitatea de proiectare a clădirilor noi, ca o exigență inclusă în sistemul exigențelor esențiale proprii oricărei clădiri locuite.

Lista de notații

δ_{iz}	- grosimea izolației termice [m]
S_{pe}	- aria pereților exteriori verticali [m ²]
S_{Loc}	- suprafața utilă a spațiilor încălzite [m ²]
S_F	- suprafața ferestrelor [m ²]
S_E	- suprafața exterioară totală [m ²]
V	- volumul de aer dintr-o incintă [m ³]
Q_0	- necesarul de căldură de calcul [W]
$Q(\tau)$	- necesar orar de căldură [W]
UA	- caracteristica termică [W/K]
λ	- conductivitatea termică [W/m K]
a	- flux termic datorat activității umane [W/m ²]
R_F	- rezistența termică a ferestrelor [m ² K/W]
$\bar{R}$	- rezistența termică medie a anvelopei unei incinte [m ² K/W]
c	- căldura specifică masică [J/kgK]
M	- masa elementelor de construcție interioare [kg]

G	- debitul masic de agent termic [kg/s]
n_a	- numărul de schimburi de aer [h^{-1}]
t_a	- temperatura aerului [$^{\circ}\text{C}$]
t_T	- temperatura agentului termic de ducere [$^{\circ}\text{C}$]
t_R	- temperatura agentului termic de întoarcere [$^{\circ}\text{C}$]
t_{e_v}	- temperatura exterioară virtuală [$^{\circ}\text{C}$]
t_e	- temperatura exterioară [$^{\circ}\text{C}$]
t_i	- temperatura interioară rezultantă [$^{\circ}\text{C}$]
m	- coeficient specific corpurilor statice [-]
ε	- abatere acceptată

Indici M - din măsurări P - din proiect**Determinarea conductivităților termice corectate ale materialelor din structura elementelor de închidere opace verticale și orizontale**

Cunoașterea valorilor conductivităților termice corectate ale materialelor termoizolante din componență elementelor de construcție opace permite utilizarea corectă a metodei suprapunerii răspunsurilor termice ale elementelor de construcție la solicitări climatice aleatoare. Practic atât perturbațiile datorate prezenței (cunoscută sau nu) punților termice cât și cele datorate modificării în timp a proprietăților termofizice ale materialelor cu proprietăți termoizolante vor fi considerate ca fiind consecință a modificării conductivității termice care devine principala necunoscută a sistemului fizic analizat. Sistemul este descris sub forma unei mulțimi $\{\lambda\}$ cu elementele λ_j care sunt conductivitățile termice corectate. Valorilor λ_j li se asociază valori ale densităților ρ_j și ale căldurii specifice masice c_j care pot fi asimilate valorilor de catalog. Suprafața de transfer de căldură a fiecărui element de construcție opac analizat coincide cu suprafața adiacentă spațiului ocupat. Condițiile necesare determinării valorilor λ_j sunt următoarele:

- zile cu cer acoperit;
- temperatură în spațiul ocupat practic constantă (apropiată de valoarea proprie confortului termic).

Determinarea, care implică două etape, se realizează în sezonul rece urmând ca valorile rezultate (invariante) să fie utilizate în analizele de microclimat specific întregului an. Se au în vedere două tipuri de experimente, după cum urmează:

- specific clădirilor dotate cu sistem de încălzire centrală cu agent termic apă;
- specific clădirilor dotate cu instalații de ventilare (încălzire / climatizare).

A. Clădiri echipate cu instalații de încălzire centrală cu apă caldă

Modelul de calcul este de tip bi-zonal. Zona centrală este formată din spațiul încălzit ocupat, iar zona secundară este formată din spațiile anexe. Între aceste zone se produce transfer de căldură a cărui intensitate depinde de valorile temperaturilor interioare rezultante.

Etapă preliminară a analizei stabilește o corelație între rezistența termică medie a elementelor de construcție opace și numărul mediu de schimburi de aer caracteristic spațiilor ocupate [11]:

$$\bar{R} = \frac{D_1 + A_1 \cdot n_a}{D_2 - n_a} \quad (1)$$

în care coeficienții numerici A_1 , D_1 și D_2 se determină funcție de condițiile specifice experimentului și de caracteristicile geometrice ale spațiului ocupat. Condițiile specifice experimentului cuprind valorile măsurate ale parametrilor termodinamici ai agentului termic precum și temperatura exterioară, sub forma valorilor medii pe intervalul de măsurare a cărui durată $T > 170$ h. Un parametru termodinamic cu importanță majoră este temperatura medie volumică a aerului din spațiile ocupate, determinată indirect*) cu relația:

$$t_{aM} = t_e + (\xi_{aM} - t_e) \cdot [0,99761 \cdot (t_{TM} - t_e) - 0,0005] \quad (2)$$

în care:

$$\xi_{aM} = \frac{t_{RM} \cdot E_S - t_{TM}}{E_S - 1} \quad (3)$$

*) Termenul de indirect semnifică faptul că valoarea t_{aM} nu se măsoară.

și

$$E_S = \exp \left[\left(0,003921 \cdot \frac{Q_0}{G_C} \right)^{\frac{1}{1+m}} \cdot (t_{T_M} - t_{R_M})^{\frac{m}{1+m}} \right] \quad (4)$$

Coeficientul m caracteristic corpurilor de încălzire diferă de valoarea de catalog, fiind consecință a proceselor de transfer de căldură prin radiație către anvelopa spațiului ocupat și prin convecție către stratul limită dezvoltat pe suprafața elementelor încălzitoare.

Valoarea m constituie una din necunoscutele problemei. Ecuația de bilanț termic, caracteristică spațiului ocupat, are forma:

$$\sum_p \lambda_{CP} \cdot \frac{S_{Pe_p}}{\lambda_{CP} \cdot A_{K_p} + \delta_{iz_p}} + \frac{\lambda_{CT} \cdot S_T}{\lambda_{CT} \cdot B_T + \delta_{iz_T}} = \frac{\bar{Q} + a \cdot S_{Loc}}{\bar{t}_i - t_e} - \frac{S_F}{R_F} - C \cdot n_a \quad (5)$$

în care necunoscutele sunt valorile λ_{CP} și λ_{CT} (conductivitățile termice corectate ale materialelor termoizolante conținute în elementele de construcție opace verticale – P și ale materialului termoizolant conținut în structura terasei – T), precum și valoarea n_a . Temperatura medie rezultantă a spațiilor ocupate $\bar{t}_i$ se exprimă funcție de temperatura t_{aM} (2) cu relația:

$$\bar{t}_i = [t_{aM} - (1 - B_1) \cdot \bar{t}_{e_v}] / B_1 \quad (6)$$

în care B_1 este un coeficient numeric care depinde de rezistența termică medie a elementelor de închidere ale spațiilor ocupate (1). Temperatura exterioară virtuală a elementelor de construcție perimetrale se exprimă la rândul său funcție de rezistențele termice ale acestora, prin urmare și funcție de valorile λ_{CP} și λ_{CT} .

Din cele de mai sus rezultă că ecuația (5) conține $(p + 3)$ necunoscute și este o ecuație algebrică neliniară. Procedura de rezolvare este de tipul “Predictor-Corector” în pași alternați.

B. Clădiri echipate cu instalații de ventilare

În acest caz atât activitatea experimentală cât și generarea ecuației de bilanț termic se simplifică în sensul că valoarea t_{aM} se măsoară (determinare directă) iar valoarea n_a este cunoscută urmare cunoașterii debitului de aer proaspăt introdus în spațiile ocupate. Prin urmare necunoscutele sunt în număr de $(p + 1)$ și se referă strict la conductivitățile termice corectate ale materialelor de construcție incluse în elementele de închidere opace. Procedura de rezolvare este tot de tipul “Predictor-Corector” cu pași alternați.

Determinarea valorilor conductivităților termice corectate

Se propune o valoare pentru conductivitatea termică a materialului termoizolant din structura terasei, $\lambda_{CT}^{(0)}$ și rezultă o formă particulară a ecuației (5) având $(p + 2)$ necunoscute.

Ținând seama de faptul că în realitate numărul de materiale izolante cu impact semnificativ asupra rezistenței termice a unei clădiri cu referire la pereții verticali este limitat practic la un material, ecuația (5) devine:

$$\lambda_{CP} \sum_p \frac{S_{Pe_p}}{\lambda_{CP} \cdot A_{K_p} + \delta_{iz_p}} = f^{(0)}(m) - C \cdot n_a \quad (7)$$

în care p semnifică numărul de ordine atașat pereților verticali cu grosimi diferite ale termoizolației. Ținând seama de semnificația fizică a ecuației (7), rezultă relația de limitare a valorii n_a :

$$n_a^{(0)} < f^{(0)}(m) \cdot C^{-1} \quad (8)$$

Pe de altă parte, coeficientul m , caracteristic corpurilor de încălzire are un domeniu de variație limitat impus de valorile fizic posibile ale temperaturii interioare rezultante $\{t_{i_{\min}}, t_{i_{\max}}\}$. Rezultă, din ecuația (6) asociată cu relațiile (2), (3) și (4), domeniul $m \in [m_{\min}, m_{\max}]$. Se alege un pas Δm astfel încât:

$$m_j = m_{j-1} + \Delta m \quad (9)$$

în care j este numărul de ordine al iterației.

Se alege o valoare m_j din mulțimea de valori posibile $\{m\}$ și se determină valoarea $n_{a_{\max}}^{(0)}$ din inegalitatea (8) transferată în ecuație.

Se admite un pas Δn_a astfel încât:

$$n_{a_k} = n_{a_{k-1}} - \Delta n_a \quad (10)$$

Pentru fiecare valoare n_a (m_j) se rezolvă ecuația neliniară (7) utilizând metoda Kani modificată. Rezultă două mulțimi cu corespondență biunivocă între elementele $\{n_a\}$, $\{\lambda_{CP}\}$ pentru o valoare $\lambda_{CT}^{(0)}$ și pentru m_j fixat. Cu ajutorul programului de calcul INVAR, pentru funcțiunea „confort” cu $\bar{t}_i(m_j)$ determinat cu relația (6) și cu valori corespondente din mulțimile $\{n_a\}$ și $\{\lambda_{CP}\}$, se determină valori $Q_{jk}(\tau)$, în care k este numărul de ordine al valorilor $\{n_a\}$ conform succesiunii (10). Se determină valoarea abaterii medii pătratice dintre valorile $Q_{jk}(\tau)$ și valorile $Q_M(\tau)$, determinate experimental.

$$\sigma_{jk}^{(0)}(Q_{jk}) = 0,042563 \cdot \sqrt{\sum_{\tau} [Q_{jk}(\tau) - Q_M(\tau)]^2} \quad (11)$$

Pentru diverse valori $\{\{n_a\} \text{ și } \{\lambda_{CP}\}\}_j$ generate de aceeași valoare m_j se determină valori $\sigma_{jk}^{(0)}$ și se reține:

$$\sigma_j^{(0)} = \min\{\sigma_{jk}^{(0)}\} \quad (12)$$

asociată cu valoarea m_j , careia îi corespunde un cuplu unic de valori n_a, λ_{CP} .

Se repetă procedeul cu câteva valori m_j generate cu relația (6) și se reține valoarea $\sigma_j^{(0)}(m_j) = 0$. Se obține prin urmare soluția $m^{(0)}$ (asociată valorii $\lambda_{CT}^{(0)}$) care generează cuplul unic de valori $(\lambda_{CP}^{(0)}, n_a^{(0)})$ – cel care a generat valoarea minimă a abaterii medii pătratice.

Primul pas cu valoare de „Predictor” conduce deci la valorile $\lambda_{CP}^{(0)}$, $\lambda_{CT}^{(0)}$, $m^{(0)}$ și $n_a^{(0)}$.

Următorul pas de calcul cu valoare de „Corector” presupune menținerea valorii $\lambda_{CP}^{(0)}$ și determinarea, conform procedurii descrise, a valorilor $\lambda_{CT}^{(1)}$, $m^{(1)}$ și $n_a^{(1)}$. În continuare calculul se desfășoară în pași succesivi de tipul „Predictor-Corector” alternând valorile λ_{CP} și λ_{CT} ca valori inițiale. Calculul se consideră încheiat când sunt satisfăcute simultan inegalitățile:

$$\begin{cases} |m_i - m_{i-1}| \leq \varepsilon \\ |n_{a_i} - n_{a_{i-1}}| \leq \varepsilon \\ |\lambda_{CP i} - \lambda_{CP i-1}| \leq \varepsilon \\ |\lambda_{CT i} - \lambda_{CT i-1}| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (13)$$

În cazul în care instalația este de tipul „ventilare” procedura prezentată nu va conține m și n_a ca necunoscute.

Verificarea valorilor temperaturilor interioare din spațiile ocupate fără echipamente de condiționare a aerului, în sezonul cald

Cunoașterea, urmare procedurii de identificare, prezentată în capitolul anterior, a valorilor reale ale conductivităților termice ale materialelor termoizolante din structura elementelor de închidere, permite determinarea variației în timp a temperaturilor interioare semnificative din spațiile ocupate. Calculul se bazează pe cunoașterea valorilor temperaturii exterioare virtuale caracteristice fiecărui element de construcție, $t_{evp}(\tau)$. Temperatura exterioară virtuală se bucură de proprietatea că variația sa în timp nu depinde de variația temperaturii interioare rezultante. Valorile $t_{evp}(\tau)$ se determină cu programul de calcul INVAR – funcțiunea „confort” – impunându-se în spațiile ocupate o valoare oarecare, constantă t_{i_0} .

Ecuațiile de bilanț termic în sezonul cald caracteristice fiecărei incinte j exprimă egalitatea dintre variația energiei interne a elementelor de

construcție interioare și fluxul termic caracteristic elementelor de construcție perimetrale corectat cu fluxul termic provenit din activitatea umană în spațiul ocupat.

$$(Mc)_j \cdot \frac{dt_{ij}(\tau)}{d\tau} + \left[\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a(\tau) \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1 \right]_j \cdot [t_{i_{jR}}(\tau) - t_{e_{Rj}}(\tau)] + \sum_k [t_{ij}(\tau) - t_{ik}(\tau)] = 0 \quad (14)$$

în care:

$$t_{i_{jR}}(\tau) = t_{ij}(\tau) - a \cdot S_{Loc} / \left[\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a(\tau) \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1 \right]_j \quad (15)$$

$$t_{e_{Rj}}(\tau) = \frac{\left[\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a(\tau) \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot (B_1 - 1) \right]_j}{\left[\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a(\tau) \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1 \right]_j} \cdot \bar{t}_{e_{vj}}(\tau) + n_a(\tau) \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot t_e(\tau) \quad (16)$$

$$\bar{t}_{e_{vj}}(\tau) = \frac{\sum_p \left(\frac{S}{R} \right)_p \cdot t_{e_{vp}}(\tau)}{\sum_p \left(\frac{S}{R} \right)_p} \quad (17)$$

Indicele k este caracteristic incintelor având elemente de construcție comune cu incinta j . Prin scrierea ecuațiilor de bilanț termic (14) pentru fiecare incintă a clădirii se generează modelul multi-zonal de analiză a microclimatului interior într-o clădire ocupată. Sistemul de ecuații generat se integrează prin metoda Runge-Kutta de ordinul patru și rezultă funcțiile $t_{ij}(\tau)$ precum și funcțiile $t_{aj}(\tau)$ determinate cu relația:

$$t_{aj}(\tau) = t_{ij}(\tau) \cdot B_1 + (1 - B_1) \cdot \bar{t}_{e_{vj}}(\tau) \quad (18)$$

În cazul adoptării modelului simplificat bi-zonal se obțin valori medii $\bar{t}_i(\tau)$ și $\bar{t}_a(\tau)$ la

nivelul clădirii care conduc la concluzii eronate cu privire la microclimatul probabil din spațiile ocupate.

În cazul clădirilor individuale se poate aborda modelul bi-zonal sau chiar unizonal dacă spațiul ocupat nu se învecinează cu spații anexă neîncălzite. În acest caz variația temperaturii interioare se determină cu relația:

$$t_i(\tau) = t_{i_0} \exp(-A_1 \cdot \tau) + A_1 \cdot [\psi(\tau) \cdot \exp(-A_1 \cdot \tau)] \quad (19)$$

în care:

$$A_1 = \frac{\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1}{Mc}$$

și

$$\psi(\tau) = t_{e_R}(\tau) + \frac{a \cdot S_{Loc}}{\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1}$$

În graficul din figura 1 se prezintă variația temperaturilor interioare semnificative dintr-o incintă orientată spre VEST amplasată la ultimul nivel al unei clădiri de tip bloc de locuințe nedotat cu echipamente de condiționare a aerului.

Blocul are elementele de închidere opace verticale realizate din panouri mari tristrat din beton armat și termoizolație din vată minerală cu grosimea de 7,5 cm. Terasa conține ca element termoizolant B.C.A. cu grosimea de 15 cm.

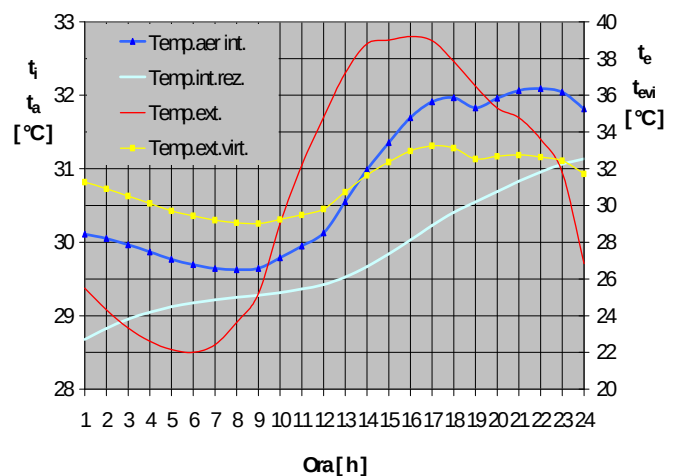


Figura 1. Temperaturi interioare și exterioare semnificative – incinta situată la ultimul etaj (zi de iulie, București)

Rezistențele termice ale pereților și ale terasei au valorile $R_{pe} = 0,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ și $R_T = 0,89 \text{ m}^2\text{K/W}$. Clima exterioară este tipică zilei medii din luna iulie a ultimilor 5 ani în orașul bucurești. Valorile rezultate atestă un disconfort pronunțat în spațiul locuit. Concluzia poate fi generalizată pentru toate clădirile de tip bloc din București și din zona geografică amplasată sub paralela 45°N .

Determinarea “necesarului de frig” din spațiile ocupate în sezonul cald

Relația de calcul derivă direct din ecuația (14) în care se impune constanța temperaturilor interioare în spațiile ocupate. Prin urmare:

$$Q_j(\tau) = \left(\frac{S_E}{\bar{R}} + n_a \cdot V \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot B_1 \right) \cdot [t_{i_{R0}} - t_{e_{Rj}}(\tau)] \quad (20)$$

Parametrul termodinamic esențial îl constituie și în acest caz temperatura exterioară virtuală a elementelor de construcție exterioare, $t_{e_{vp}}(\tau)$. Conform definiției dată de autori, $t_{e_{vp}}(\tau)$ se determină cu relația (1):

$$t_{e_{vp}}(\tau) = t_{i_0} - R_P \cdot q_P(\tau) \quad (21)$$

Funcția $t_{e_{vp}}(\tau)$ se poate determina fie direct utilizând programul de calcul INVAR sau oricare alt program de simulare a componentului termic dinamic al structurilor, fie indirect pe baza unei valori de calcul de referință.

Relația de calcul este în acest ultim caz:

$$t_{e_{vp}}(\tau) = t_{i_0} \cdot [1 - R(\tau)^{-1}] + t_{e_{vp}}^R(\tau) \cdot R(\tau)^{-1} \quad (22)$$

Funcția $R(t)$ se determină sub forma unei corelații funcție de indicele Krischer, D , pentru fiecare oră iar valorile orare $t_{e_{vp}}^R(\tau)$ se determină pentru o structură de referință reprezentativă pentru construcții. Pentru ziua lunii iulie și structura reprezentativă aleasă (panoul mare

tristrat utilizat în exemplul de calcul) rezultă variația $t_{e_{vp}}^R(\tau)$ prezentată în graficul din figura 2.

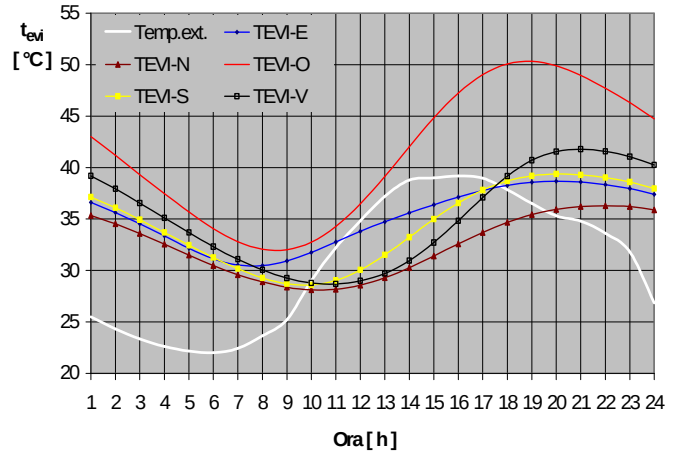


Figura 2. Variația diurnă a temperaturii exterioare virtuale pentru o structură de panou mare tristrat (orientări E, N, Oriz., S, V - zi de iulie, București)

Menționăm faptul că programul de calcul INVAR se bazează pe metoda Răspunsului Termic Unitar (RTU) pentru structuri compozite și cu condiții la limită liniare și neliniare [12].

Concluzii

Lucrarea prezintă succesiunea etapelor necesar a fi parcurse în scopul verificării condițiilor de microclimat în clădirile existente pe de o parte și în scopul determinării necesarului orar de frig pentru realizarea confortului termic în sezonul cald pe de altă parte. Metoda prezentată este imediat aplicabilă și în cazul proiectării clădirilor noi prin simularea regimului termic în spațiile ocupate.

Variația $t_i(\tau)$ și $t_a(\tau)$ reprezintă funcții importante în analiza performanței energetice a clădirilor noi și existente.

Metodele prezentate reprezintă noutăți în literatura tehnică de specialitate motiv pentru care autorii au detaliat elementele procedurale sub o formă imediat aplicabilă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Constantinescu, D., *Termotehnica în Construcții* – note de curs UTCB (1990-2003)
- [2] Directiva Parlamentului și Consiliului Europei 2002/91/EC cu privire la performanța energetică a clădirilor
- [3] NP 200-89, Instrucțiuni tehnice provizorii pentru proiectarea la stabilitate termică a elementelor de închidere ale clădirilor
- [4] STAS 6648/1-82, *Calculul aporturilor de căldură din exterior – Prescripții fundamentale*
- [5] Mingsheng, L. ș.a., *Is the Actual Heat Loss Factor Substantially Smaller than You Calculated?*, ASHARE Trans. 101(2) - 1995, p. 3-13
- [6] Reeves, G.A., *Degree-Day Correction Factors – Basis for Values*, ASHARE Trans. 87 vol. I - 1981, p. 504
- [7] Fischer, R.D., *Degree-Day Method for Simplified Energy Analysis*, ASHARE Trans. 88 vol. II - 1982, p. 522-571
- [8] Indkoff ș.a., *Empirical Validation Using Data from the SERI Class A Validation House*, Proc. of 1983 Annual ASES Meeting, Boulder Colorado
- [9] Penman, J.M., *Second Order System Identification in the Thermal Response of a Working School*, Bldg. Envir. 25 No. 2, p. 105-110
- [10] Sondergger, R.C. ș.a., *In situ Measurements of Residential Energy Performance Using Electric Co-Heating*, ASHARE Trans. 86, vol. I, p. 394-407
- [11] Constantinescu, D., Petran, H., *Inverse Modeling Method for the Identification of the Real Thermal Characteristics of Existing Buildings*, Proc. 2nd Int. Conf. of Heat Transfer, Fluid Mec. and Thermodynamics HEFAT 2003, Victoria Falls, Zambia
- [12] Constantinescu, D., *Realizarea de construcții cu consum redus de energie pentru încălzire*, Rap. B112 – 1973, INCERC București
- [13] Constantinescu, D., *Modelul INVAR pentru simularea răspunsului termic al clădirilor*; Conf. Academia Română 1993 Simpozion “Confortul și Energia”
- [14] Constantinescu, D. ș.a., *The Virtual Outdoor Temperature – A Thermodynamic Parameter Specific to the Apartment Buildings*, Proc. CLIMA 2000, Bruxelles, 1997