

Analiza decizională pentru evaluarea gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit*

Decision analysis to evaluate thermal comfort in residential buildings

Gabriel Teodoriu¹, Ion Șerbănoiu²

¹Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații
Str. Prof.dr.doc. Dimitrie Mangeron, nr. 1, mun. Iași, cod 700050, Romania
E-mail: gabrielteodoriu@yahoo.com

²Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații
Str. Prof.dr.doc. Dimitrie Mangeron, nr. 1, mun. Iași, cod 700050, Romania
E-mail: serbanoiuion@yahoo.com

Rezumat. *Articolul abordează posibilitatea de implementare a unui model simplificat de evaluare a gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit pe perioada rece a anului, în care sistemul emisiv radiant este acționat la cerere, folosind metoda multicriterială bazată pe indicii temperatura operativă respectiv temperatura superficială în zona de incidență a punților termice. Studiului constă în urmărirea comportării parametrilor confortului termic funcție de gradul de izolare termică și propune un cadru decizional prin care să se evalueze ușor caracteristica unui ambient plăcut și sănătos pentru ocupanți, în condițiile în care se pot elimina factorii ce conduc la apariția sindromului clădirilor bolnave.*

Cuvinte cheie: confort termic, rezistență termică, temperatura operativă, model decizional, clădiri de locuit

Abstract. *This article synthesizes the possibility of implementing a simplified model to assess users thermal comfort satisfaction in residential buildings, during the cold season, considering on demand usage of radiant heating system, using the operative temperature and surface interior temperature index for evaluation. This study aims to estimate thermal comfort parameters depending on thermal insulation and proposes a framework to assess the decision to configure a pleasant and healthy environment for occupants, following the principle to avoid factors that lead to sick building syndrome.*

Key words: multi criteria, decision making, thermal confort, residential buildings

1. Introducere

Confortul poate fi definit, la modul general, drept ansamblul condițiilor de mediu necesare desfășurării optime a vieții fiziologice și psihice a omului aceasta

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

presupunând satisfacerea concomitentă a exigențelor privind căldura, acustica, luminozitatea, puritatea aerului etc.

Pornind de la acest aspect, cercetarea relației locuință, condiții de locuit, sănătatea, confortul populației și consumul energetic se impune ca primă necesitate în perioada actuală dacă avem în vedere ritmul susținut de construire a locuințelor în contextul noilor exigențe impuse de normele europene și al epuizării resurselor convenționale de energie.

Parametrii care influențează confortul fiziologic sunt determinați funcție de principalii factori care influențează capacitatea de disipare a excesului de căldură din corp ce afectează implicit starea de confort termic resimțită în încăperi.

Abordarea sistemică a confortului adaptiv este relevat sintetic în fig. 1 și se poate explica prin faptul că în cazul apariției unei schimbări sau a unui fenomen cauzator de disconfort, oamenii pot reacționa pentru a restabili starea de confort în funcție de propriile necesități și percepții. Ipotezele principale ale acestei teorii constau în:

- ✓ capacitatea ființelor umane de a se adapta la condițiile de mediu
- ✓ posibilitatea de a regla parametrii de confort după propriile necesități;
- ✓ influența experiențelor anterioare asupra așteptărilor ocupanților în ceea ce privește condițiile de microclimat interior. [1]

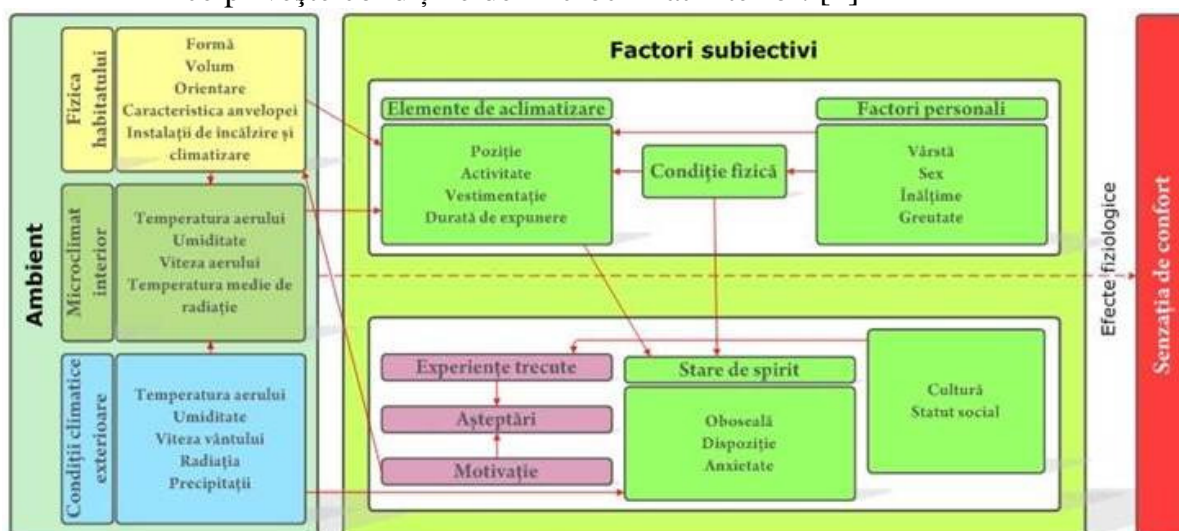


Fig. 1. Abordarea sistemică a confortului adaptiv

Primul pas în asigurarea unui climat plăcut și sănătos îl constituie determinarea rezistenței termice minim necesare pentru suprafețele exterioare pentru a evita incidența mucegaiului care ar putea clasifica locuința sub auspiciul sindrom clădire bolnavă.

2. Temperatura operativă

Indicele *temperatură operativă* constituie standardul ideal pentru a cuantifica starea de confort termic într-o încăpere. A fost introdus de Winslow, Herrington și Gagge după rezultatele cercetărilor lui Bedford și poate fi definit drept temperatura

uniform distribuită pe suprafața unei anvelope izotermice imaginare cu care o persoană va schimba aceeași cantitate de căldură prin radiație și convecție ca cea din mediul considerat. Inițial, era estimat ca medie ponderată între temperatura medie radiantă și temperatura termometrului uscat luând în considerare coeficienții de transfer de căldură specifici, conform relației: [2]

$$t_o = \frac{(h_r \theta_{mr} + h_c t_i)}{h_r + h_c} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

unde:

h_r - coeficientul de transfer de căldură prin radiație (4,7 W/m²°C);

h_c - coeficientul de transfer de căldură prin convecție [W/m²°C];

θ_{mr} - temperatura medie radiantă [°C].

Formula integrează efectul temperaturii aerului și al radiației dar nu ia în considerare umiditatea și mișcarea aerului deoarece studiul a fost efectuat în condiții răcoroase în care impactul creat de umiditatea aerului a fost mic și circulația maselor de aer neglijabilă. În aceste condiții s-a impus necesitatea corectării formulei pentru mișcarea aerului: [2]

$$t_o = \frac{h_r \theta_{mr} + h_c \left[t_i \sqrt{\frac{v}{v_o}} - t_{sk} \left(\sqrt{\frac{v}{v_o}} - 1 \right) \right]}{h_r + h_c} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

în care:

v - viteza aerului [m/s]

v_o - viteza de referință [0,076 m/s]

t_{sk} - temperatura cutanată a individului [°C]

h_c - coeficientul de transfer prin convecție corespunzător v_o ; Estimativ $h_c = 8,3 \times 0,076^{0,6} = 1,77 \text{ W/m}^2\text{°C}$

h_r - coeficientul de transfer prin radiație, $h_r = 4,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$

θ_{mr} - temperatura medie radiantă [°C].

În condițiile în care $\theta_{mr} = t_i$ și mișcarea aerului este neglijabilă, atunci $t_o = t_i$. [2]

ASHRAE propune o formulă simplificată cu rezultate satisfăcătoare pentru sezonul răcoros, în condițiile în care locatarii au o activitate fizică sedentară (cu rate metabolice MET între 1,0 și 1,3), nu sunt expuși la radiație solară directă și suportă viteze ale aerului interior până în jurul valorii de 0,20 m/s [3], respectiv:

$$t_o = \frac{\theta_{mr} + t_i}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$

Pentru clădirile de locuit, valorile confortabile în sezonul rece pot varia între 19 și 24°C funcție de intensitatea activității ocupanților și gradul de protecție al îmbrăcăminte. ([3],[4],[5])

3. Temperatura suprafețelor interioare a elementelor de construcție

Normativul C107:2005 prevede ca model de calcul pentru determinarea temperaturii pe suprafața interioară a elementelor de construcție fără punți termice (t_{si}) relația: [6]

$$t_{si} = t_i - \frac{\Delta t}{h_c \cdot R} \quad (6)$$

în care:

$\Delta t = t_i - t_e$, pentru elementele de construcție adiacente mediului exterior;

t_i – temperatura aerului interior, considerată 21°C în sezonul rece în regim de confort;

t_e – temperatura aerului exterior de calcul specifică zonei climatice.

h_c – coeficientul de transfer prin convecție pentru spațiile interioare având valoarea medie $h_c = 3[\text{W/m}^2\text{K}]$;

Pentru determinarea temperaturilor suprafețelor interioare afectate de incidența punților termice, este necesară aplicarea unei corecții estimative utilizând formula: [6]

$$t_{si,pt} = 1,3 \cdot t_{si} - 0,3 \cdot t_i \quad (7)$$

în care:

$t_{si,pt}$ – temperatura superficială în zona de incidență a punților termice;

4. Temperatura punctului de rouă

Temperaturile superficiale se limitează inferior astfel încât să nu apară fenomenul de condens pe suprafața interioară a elementelor de construcție [6], peste valoarea temperaturii punctului de rouă.

Temperatura punctului de rouă (t_r) se calculează conform relației: [7]

$$t_r = \left(\frac{\varphi}{100} \right)^{\frac{1}{8}} (112 + 0,9 \cdot t_i) + 0,1 \cdot t_i - 112 [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

unde:

φ – umiditatea relativă a aerului interior (%);

5. Noțiuni de teoria deciziei

Teoria deciziei vizează elaborarea unor metode care să permită generarea unor decizii optime în condiții de incertitudine sau alte restricții relevante.

În elaborarea și fundamentarea metodelor de selecție se identifică următoarele etape:

- a) aprecierea caracteristicilor și definirea scopului problemei
- b) stabilirea criteriilor
- c) stabilirea metodei și alegerea variantei optime;
- d) evaluarea rezultatelor.

Conținutul principal al procesului decizional îl reprezintă selectarea unei alternative din cele aflate la dispoziția decidentului. Elementele procesului constau în:

- a) mulțimea consecințelor $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$
- b) mulțimea restricțiilor $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$
- c) mulțimea variantelor $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$;
- d) mulțimea criteriilor $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, fiecărui c_i cu $i=1, n$ îi corespunde un coeficient de importanță k_i inclus în mulțimea $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$.

Mulțimea consecințelor criteriilor de apreciere având limitele restricțiilor minim și maxim, este rezultatul analizei fiecărei variante în raport cu fiecare criteriu de aplicare în urma căreia se obține un anumit nivel al criteriului pentru fiecare variantă.

Problema decizională abordată cuprinde m variante ($v_1, v_2, \dots, v_m$) și n criterii ($c_1, c_2, \dots, c_n$) și este caracterizată prin matricea consecințelor $A=(a_{ij})$ cu $i=1, n, j=1, m, a_{ij}$ = consecință corespunzătoare variantei decizionale „i” după criteriul j ce corespunde restricției r .

Tabelul 1

Matricea procesului decizional					
Criterii \ Variante	C_1	C_2	C_3	...	C_n
V_1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	...	a_{n1}
V_2	a_{12}	a_{22}	a_{32}	...	a_{n2}
...	...	...	...	...	...
V_m	a_{1m}	a_{2m}	a_{3m}	...	a_{nm}

Evaluarea multi-criterială presupune existența unui set de probleme având un număr finit de alternative cunoscute în mod explicit înaintea aplicării procedurii de soluționare. Soluționarea problemei constă în găsirea unei alternative unice sau a unui set de alternative potrivit pentru un factor de decizie.

6. Rezultate

Elaborarea listei opțiunilor constă în introducerea parametrilor rezistenței termice (R) specifici suprafețelor exterioare ale anvelopei conform datelor prezentate în tab. 2.

Pentru a evalua cazul cel mai dezavantajos și a reliefa strict influența suprafețelor exterioare asupra ocupanților aflați în imediata vecinătate a acestora, s-a considerat că $\theta_{mr}=t_{si}$.

Tabelul 2

Matricea procesului decizional privind condițiile de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit

Variantă R \ Criterii	0,7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_o	11,71	14,50	17,75	18,83	19,38	19,70	19,92	20,07	20,19	20,28	20,35
$t_{si,pt}$	-3,14	4,10	12,55	15,37	16,78	17,62	18,18	18,59	18,89	19,12	19,31

Abordarea multicriterială constă în propunerea criteriilor c_1 – temperatura operativă (t_o), respectiv c_2 – temperatura superficială în zona de incidență a punților termice ($t_{si,pt}$) pentru alegerea variantei:

- ✓ $f_1(R) = \min(R)$ pentru care se satisface restricția $t_o \geq 19^\circ\text{C}$
- ✓ $f_2(R) = \min(R)$ pentru care se satisface restricția $t_{si,pt} > t_r$; pentru valori t_r conform cu tab. 3.

Tabelul 3

Valorile restricției temperatura punctului de rouă (t_r)

φ [%]	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
t_r [$^\circ\text{C}$]	6,8	8,6	10,1	11,6	12,9	14,1	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	21,0

Ținând cont de egalitatea coeficienților de importanță pentru criteriile c_1 și c_2 , rezultă $f(R) = \max(f_1(R), f_2(R))$.

Obiectivul scontat constă în creșterea temperaturii suprafeței interioare și implicit minimizarea incidenței condensului în zona pereților opaci prin încadrarea curbei temperaturii suprafeței interioare t_{si} respectiv $t_{si,pt}$ corespunzătoare punților termice, peste limita temperaturii punctului de rouă t_r , conform fig. 2.

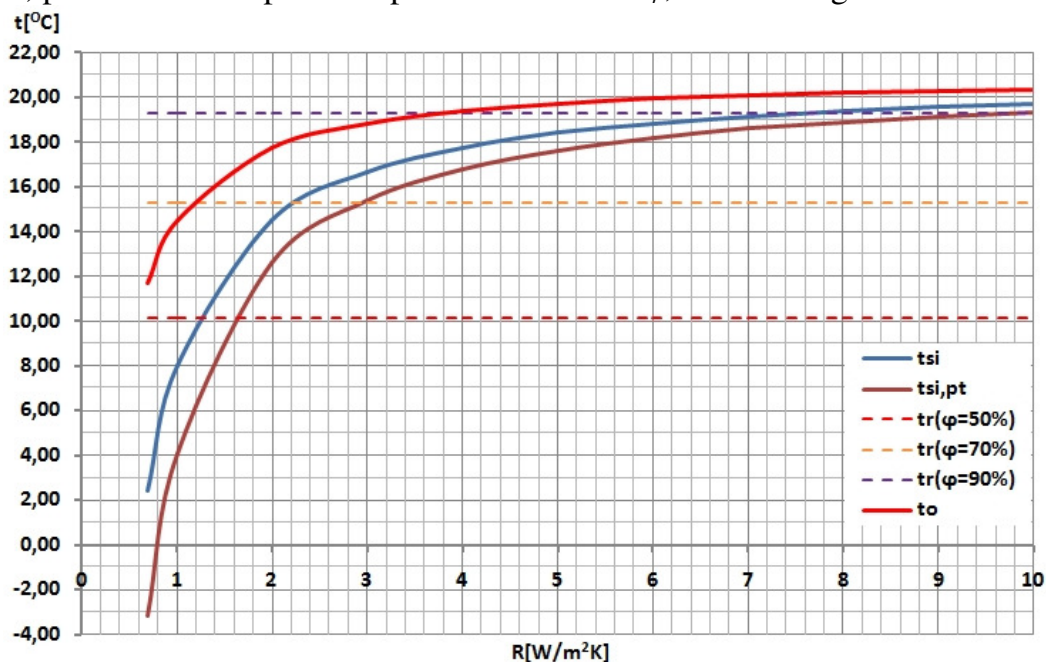


Fig. 2. Variația temperaturii operative și a temperaturii suprafețelor interioare raportat la valoarea rezistenței termice a suprafețelor adiacente mediului exterior pentru zona climatică III specifică orașului Iași (temperatura exterioară de calcul $t_e = -18^\circ\text{C}$)

Încadrarea temperaturii operative peste limita minimă 19°C presupune alegerea unei plaje de valori $R > 3,4$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], însă interpretarea rezultatelor necesită și revizuirea condițiilor de risc privind incidența mușgaiului (apreciate funcție de destinația încăperii și calitatea parametrilor sistemului de ventilație), după cum urmează:

- risc scăzut, pentru $\varphi < 50\%$ – se pot adopta valori $R < 1,6$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- risc mediu, pentru $50\% < \varphi < 70\%$ – se recomandă valori R cuprinse în intervalul $1,6 - 2,9$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

Analiza decizională pentru evaluarea gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit

- risc ridicat, pentru $70\% < \phi < 90\%$ – se recomandă valori R cuprinse în intervalul $2,9 - 9,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$;
- risc foarte ridicat, pentru $\phi > 90\%$ – se recomandă valori $R > 9,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$.

7. Concluzii

Metodologia prezentată are scop orientativ și reprezintă un prim pas în aprecierea gradului de izolație termică pentru satisfacerea condițiilor de confort în clădirile de locuit, în condițiile în care s-au făcut ipoteze simplificatoare pentru a reliefa cazul cel mai dezavantajos ținând cont de temperatura exterioară de calcul.

Din aceste considerente, validarea deciziei necesită totuși un program complex de evaluare a comportamentului soluției alese pe întreaga perioadă de viață a sistemului folosind metoda unicriterială corespunzătoare metodologiei cost-global pentru a evalua relația izolație termică–sistem de încălzire.

Referințe

- [1] G. Teodoriu, „Criterii tehnico-economice specifice metodologiei de optimizare a gestionării energiei termice în clădirile de locuit”, Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare, pp.101, Iași, 25 ianuarie 2013, Editura Politehnicum Iași, ISBN 978-973-621-408-0
- [2] G. Teodoriu, „Mijloace de evaluare și cuantificare a condițiilor de confort termic pentru clădirile de locuit”, Creații universitare 2011 Al V-lea Simpozion Național Iași, România, 25 Mai 2012, 2012
- [3] *** ASHRAE STANDARD 55:2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2004
- [4] *** EN ISO 7730:2005 – Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 3rd edition, 2005
- [5] L. Ekberg, „Revised Swedish Guidelines for the Specification of Indoor Climate Requirements released by SWEDVAC”, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors, 2007
- [6] *** C107-2005 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, 2005
- [7] M. Wanielist, R. Kersten, R. Eaglin, „Hydrology Water Quantity and Quality Control 2nd ed.”, John Wiley & Sons, 1997

Acknowledgements

Această lucrare a fost realizată cu suportul financiar al proiectului POSDRU CUANTUMDOC „STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE” ID79407 proiect finanțat de Fondul Social European și Guvernul României.