

Influența temperaturii aerului interior asupra calității mediului interior și a consumului energetic pentru o clădire rezidențială

Mihai TODERAȘC

Universitatea Tehnică de Construcții București
Email : mihai1989_tt@yahoo.com

Vlad IORDACHE

Universitatea Tehnică de Construcții București
Email : viordach@yahoo.com

Cristian PETCU

Institutul National de Cercetare - Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă "URBAN-INCERC"
Email : cristian.petcu@yahoo.com

Abstract

The indoor environmental quality (IEQ) index is an indicator of the buildings comfort level, which in addition to the thermal comfort and takes also into consideration the acoustic comfort, visual comfort and indoor air quality. The indoor temperature is an important parameter because it significantly impacts both the energy consumption and the indoor environmental quality. This study analyzes the influence of the indoor air temperature upon these two building performance indicators: the indoor environmental quality index (ICMI) and the specific heat consumption ($q_{H_consumator}$). The covariance between the two building performance indicators is used in order to avoid energy waste but in the same time ensuring the optimal interior comfort.

Keywords : Indoor Environemnt Quality Index, Building Operation, Ratioinal use of energy

Rezumat:

Indicele de Calitate a Mediului Interior (CMI) este un indicator al nivelului de confort din interiorul clădirilor care pe langa confortul termic vizează și confortul acustic, vizual și calitatea aerului interior. Temperatura interioară este un parametru important de care depinde atât consumul energetic precum și calitatea mediului interior. In acest studiu se analizeaza influența temperaturii interioare asupra celor doi indicatori de performanță: indicele de calitate a mediului interior (ICMI) și consumul de căldură specific ($q_{H_consumator}$). Se va prezenta utilizarea covariației celor doi indicatori de performanță pentru evitarea risipei de energie și asigurarea unui confort interior optim.

Cuvinte cheie: Indice de Calitatea a Mediului Interior, Exploatarea clădirilor, Exploatarea rationala a cladirilor.

1. Introducere

Starea de bine, sănătatea, și productivitatea ocupanților unei clădiri, sunt strâns legate de microclimatul interior, a cărui calitate este evaluată cu ajutorul unor parametri precum temperatura interioară, calitatea aerului interior, nivelul de presiune acustică și nivelul de iluminat corelați cu nivelul de educație, felul muncii, vârsta sau genul [1]. Astfel, deși există metode eficiente și populare de evaluare a diferitelor tipuri de confort luate separat [3], utilizarea unui indice de calitate a mediului interior (I_{CMI}) are avantajul că tratează parametrii confortului interior ca fiind interconectați.

Cercetările privind îmbunătățirea calității mediului interior (CMI) sunt binevenite, fiind cunoscut faptul că prețul plătit datorat neajunsurilor create din cauza condițiilor nesatisfăcătoare de locuit este de cele mai multe ori mai mare decât costul energiei ce ar trebui consumată, sau a investițiilor de modernizare ce ar trebui întreprinse pentru realizarea unui mediu interior care să asigure condiții propice locuirii și desfășurării activităților umane [2].

Pe lângă starea utilizatorilor, modul de exploatare a clădirilor afectează considerabil și consumul de energie a acestora. Prin alegerea corectă a valorilor setate pentru mărimile ce intră în calculul indicelui de calitate a mediului interior se pot aplica strategii de climatizare care să ducă la utilizarea rațională a energiei sau dimpotrivă, la risipă de energie.

Oamenii se simt confortabil pe un interval mai cuprinzător de temperaturi decât cel recomandat de actele normative [5], iar clădirile în care există sisteme ce oferă posibilitatea „personalizării” microclimatului interior prin controlul sporit pe care utilizatorii îl au asupra instalațiilor de ventilare/climatizare, înregistrează performanțe mai bune atât din punct de vedere a confortului dar și a eficienței energetice [6].

În cele ce urmează încercăm să stabilim printr-un studiu de caz pe o clădire rezidențială în ce măsură modificarea temperaturii interioare induce schimbări ale indicelui de calitate a mediului interior și impactul acestor schimbări asupra consumului energetic(CE) al clădirii.

2. Clădirea analizată

Pentru analiza relației temperatură interioară – indice de calitate a mediului interior – consum energetic pentru încălzirea spațiilor ne vom concentra atenția asupra unei clădiri rezidențiale de tip bloc de locuințe amplasată în Municipiul București. În acest demers ne bazăm pe datele și observațiile relevate în urma analizei la fața locului a clădirii.

Construcția are formă paralelipipedică și se compune din 4 tronsoane, dintre care vom utiliza ca suport de studiu tronsonul A, având regimul de înălțime S+P+10E+1ET, cu o suprafață totală construită de 3920 m², fațada principală fiind orientată pe direcția nord.

Etajele 1÷10, compun zona de locuințe asupra căreia se focalizează studiul, fiind compartimentate astfel: câte un apartament de patru camere și câte trei apartamente de trei camere pe nivel. Volumul încălzit este alcătuit din cele 40 de apartamente în timp ce casa scării, subsolul și etajul tehnic sunt neîncălzite.

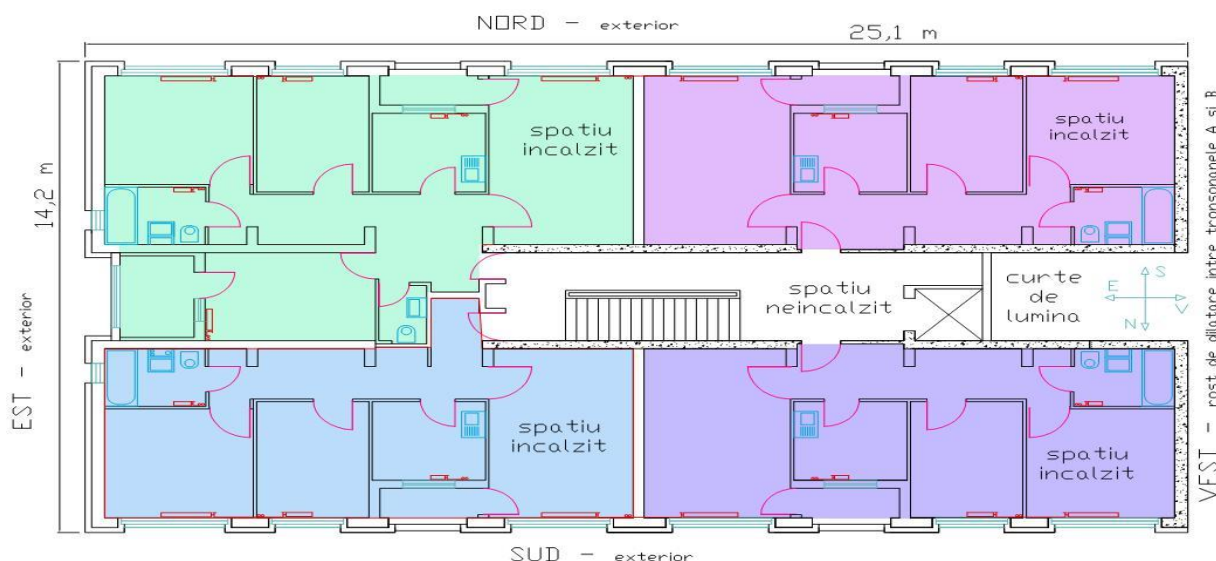


Figura1. Planul clădirii analizate (tronsoanel A); □ perete tip 1; ▤ perete tip 2

Structura de rezistență a blocului este alcătuită din fundații continue din beton armat, planșee, stâlpi de rezistență și pereți structurali din beton armat.

Anvelopa termică este compusă din elemente opace, descrise în Tabelul 1 și elemente vitrate, tâmplărie simplă din lemn în proporție de 70 % din totalul suprafeței vitrate, respectiv tâmplărie din PVC cu geam termoizolant în proporție de 30%.

Elemente Materiale principale	δ [m]		
	Perete tip 1	Perete tip 2	Terasă circulabilă
Tencuială din mortar de var	0,02	0,02	0,02
Placa beton armat	0,2	-	0,3
BCA	0,2	0,2	-
Polistiren celular	-	-	0,1
Hidroizolație bituminoasă	-	-	0,03
Beton simplu	-	-	0,1
Tencuială din mortar de var	0,02	0,02	-
Hidroizolație (2p+1c+4b)	-	-	0,03

Tabel 1. Alcătuirea elementelor de construcție opace.

3. Metodă

Studiul influenței temperaturii interioare asupra indicelui de calitate a mediului interior, I_{CMI} [-], și asupra consumului energetic (CE) are la bază metodele de calcul a celor doi estimatori cunoscute în literatură. Pentru a stabili influența pe care o are temperatura interioară asupra celor doi indici se va varia valoarea temperaturii interioare a aerului într-un domeniu caracteristic spațiilor încălzite de la interiorul clădirilor rezidențiale. Am extins acest domeniu de variație al temperaturii interioare cu 2-3°C peste valoarea maximă pe care o întâlnim în

standardele romanesti (25-26°C pentru camere de spital). S-a tinut de asemenea cont de diferenta între temperatura operativa și cea a aerului interior (în acest studiu s-a considerat temperatura operativa cu 1 °C mai scăzută decât temperatura aerului interior). În urma acestor considerente s-a ales să se varieze temperatura interioară între 19°C și 29°C și se vor urmări atât modul de variație a indicelui de calitate a mediului interior, I_{CMI} [-] precum și consumul energetic al clădirii, $q_{H_consumator}$ [kWh/m²/an]. În cele ce urmează vom prezenta pe scurt metodele de calcul ale acestor doi parametri.

Calitatea mediului interior înglobează cele patru tipuri de confort: termic, acustic, vizual, calitatea aerului interior. Indicele I_{CMI} se determină prin calculul indicilor de confort ce acționează asupra percepției ocupanților despre mediul ambiant [4], [7], care sunt apoi reuniți într-o singură mărime, prin intermediu unor ponderi determinate statistic [8].

$$I_{CMI} = \frac{I_{CT} \cdot \mu_{CT} + I_{CA} \cdot \mu_{CA} + I_{CAI} \cdot \mu_{CAI} + I_{CV} \cdot \mu_{CV}}{\mu_{CT} + \mu_{CA} + \mu_{CAI} + \mu_{CV}} \quad (1)$$

unde μ_{CT} , μ_{CA} , μ_{CV} , μ_{CAI} , [%] sunt ponderile corespunzătoare celor patru tipuri de confort: termic, acustic, vizual, calitatea aerului interior iar I_{CT} , I_{CA} , I_{CV} , I_{CAI} [-] sunt indicii de confort termic, acustic, vizual, calitatea aerului interior.

Judecând după valorile ponderilor putem considera că temperatura interioară este unul dintre cei mai importanți parametri care influențează calitatea mediului interior prin intermediul confortului termic. Acesta se calculează cu ajutorul temperaturii operative, media dintre temperatura aerului interior și temperatura medie de radiație.

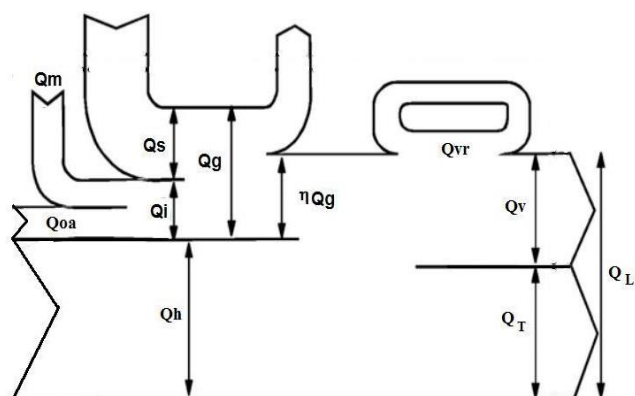
$$I_{CT} = \begin{cases} 28,57 \cdot \theta_{OP} - 514; & \text{pentru } \theta_{OP} \leq 21,5 \\ -28,57 \cdot \theta_{OP} + 800; & \text{pentru } \theta_{OP} > 21,5 \end{cases} \quad (2)$$

unde θ_{OP} , [°C] este temperatura operativă.

Vom considera că ceilalți indici de confort: I_{CA} , I_{CV} și I_{CAI} se mențin constanți în fiecare caz, corespunzător valorilor parametrilor de confort cuprinși în clasa „B” [4]: nivelul de presiune acustică $L_{pi} = 35$ [dB(A)], indicele de confort acustic $I_{CA} = 83,45$ [-], debitul de aer $q_a = 30$ [m³/pers/h], indicele de calitate a aerului $I_{CAI} = 81,25$ [-], luminozitatea $E = 275$ [lux] și indicele de confort vizual $I_{CV} = 90,75$ [-].

Pentru evaluarea necesarului de căldură sezonier vom utiliza „Metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor” MC001:2006, recomandată în cazul clădirilor de locuit și a altor tipuri de clădiri caracterizate de raportul de vitrare a anvelopei mai mic decât 40% [9].

Metoda de calcul menționată include următorii termeni: pierderile de căldură prin transmisie și ventilare de la spațiul încălzit către mediul exterior; pierderile de căldură prin transmisie și ventilare între zonele învecinate; degajările interne utile de căldură și aporturile solare.



Q_h - necesar de energie pentru încălzire
 Q_{oa} - degajări de căldură de la alte aparate
 Q_v - pierderi termice prin ventilare
 Q_{vr} - căldură recuperată din ventilare
 Q_T - pierderi termice prin transmisie
 Q_m - căldură metabolică
 Q_s - aporturi solare pasive
 Q_L - pierderi termice totale
 Q_i - degajări de căldură interne
 Q_g - aporturi totale
 ηQ_g - aporturi utile

Figura 2. Bilanțul energetic privind necesarul de încălzire

Necesarul de căldură se calculează iterativ: mai întâi, pe baza temperaturii standardizate de echilibru se determină pierderile de căldură preliminară, aporturile de căldură preliminară și factorul de utilizare după care urmează în iterații suplimentare determinarea temperaturii reale de echilibru, a pierderilor de căldură, a aporturilor de căldură și în cele din urmă a necesarului de căldură. În cadrul acestui calcul temperaturile zonelor secundare (casa scârilor, subsol și etaj tehnic) se determină prin bilanțul termic lunar conform MC001/1:2006.

Parametrii climatici sunt proprii anului reprezentativ al municipiului București și se utilizează sub forma valorilor medii lunare [10].

În capitolul de rezultate vom pune în evidență variațiile acestor doi estimatori funcție de temperatura interioară și vom analiza dacă cei doi estimatori sunt corelați sau nu din perspectiva temperaturii interioare.

4. Rezultate

Au fost considerate șase cazuri diferite de temperaturi interioare θ_i (°C) și pentru fiecare caz au fost calculați cei doi estimatori de proiectare și control ai clădirii (Tabel 2). Temperatura operativă, θ_{OP} , care se folosește pentru calculul indicelui de calitate a mediului interior, s-a considerat ca fiind cu 1°C mai scăzută decât temperatura aerului interior, θ_i .

Diferențele dintre regimurile de funcționare a clădirii se datorează doar modificării temperaturii interioare, în timp ce parametrii pentru confortul acustic, confortul vizual și calitatea aerului au fost păstrați neschimbați la valori ce corespund clasei „B” de calitate a mediului interior.

Din punct de vedere energetic variația temperaturii interioare conduce la o variație a necesarului de căldură la nivelul clădirii ($Q_{H_consumator}$) de la 481876(kWh/an) pentru situația cu $\theta_i=19^\circ\text{C}$ la mai mult decât dublu, 1152715 (kWh/an), pentru situația cu $\theta_i=29^\circ\text{C}$ (**Figura 3**).

Caz	θ_i	I_{CT}	I_{CMI}	$q_{H_consumator}$	$Q_{H_consumator}$
-----	------------	----------	-----------	---------------------	---------------------

	[°C]	[-]	[-]	[kWh/m ² /an]	[kWh/an]
(1)	19	0,26	63,8	257,3	481876
(2)	21	57,4	78,1	308	575362
(3)	23	114,54	92,5	359,9	680875
(4)	25	114,32	92,4	419,6	796304
(5)	27	57,18	78,1	492,8	936032
(6)	29	0,04	63,7	563,8	1152715

Tabel 2. Cele șase cazuri studiate

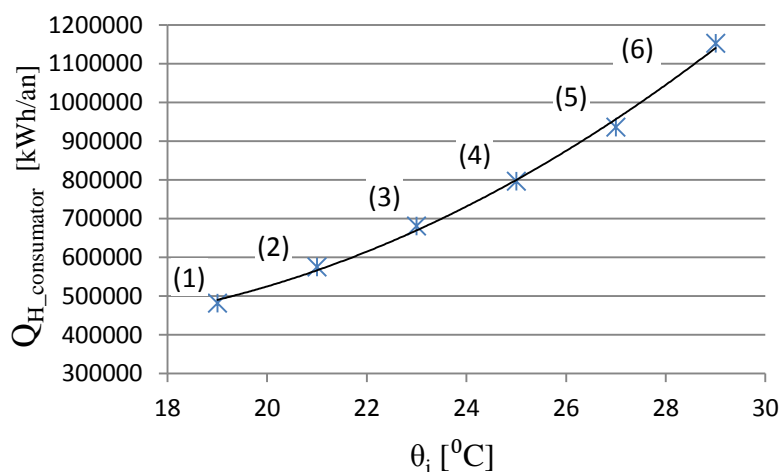


Figura 3. Variația necesarului de căldură al clădirii pe sezonul de încălzire

Consumul de căldură specific ($q_{H_consumator}$) permite o evaluare mai precisă a clădirii din punct de vedere a eficienței energetice prin încadrarea acesteia în clase energetice, conform [10]. După cum se poate observa din figura 4, clădirea se încadrează în diferite clase energetice în funcție de modul de operare: la o temperatură de 19 °C clădirea se regăsește în clasa energetică „E”, iar la temperatura de 29 °C clădirea se regăsește în clasa energetică „G”.

Deși temperatura interioară este considerată în primul caz egală cu 19 °C, din punct de vedere al performanței energetice clădirea nu atinge decât clasa „E” datorită proprietăților termo-fizice ale elementelor de construcție din componența anvelopei clădirii, care nu îndeplinesc condițiile impuse în norme [11] în ceea ce privește rezistențele termice minime recomandate.

Din punctul de vedere al calității mediului interior, temperatura interioară este un parametru a cărui variație se reflectă imediat asupra stării ocupanților (Figura 5).

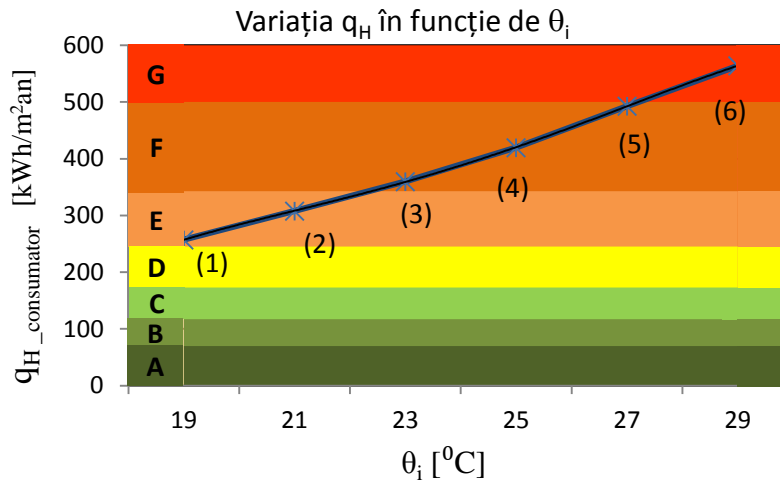


Figura 4. Variația necesarului de căldură specific pe sezonul de încălzire

Printr-o creștere de doar 2 °C a acesteia clasa de confort se modifică. Aceasta se îmbunătățește până când indicele I_{CMI} atinge valoarea maximă. Temperatura interioară pentru care I_{CMI} este maxim reprezintă temperatura optimă din punctul de vedere al calității mediului interior. Se observă că dacă temperatura interioară crește peste valoarea temperaturii optime, are loc o înrăutățire a calității mediului interior (scăderea indicelui I_{CMI}) exprimată printr-o clasă inferioară de confort (cazurile 5 și 6).

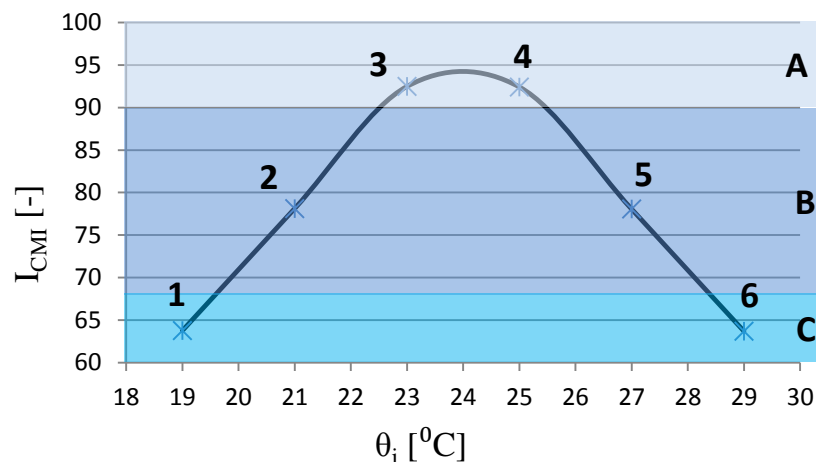


Figura 5. Variația indicelui de calitate a mediului interior în funcție de temperatura interioară

Conform rezultatelor obținute, se observă că temperatura interioară influențează în mod semnificativ ambii estimatori, deci se poate vorbi de o variație simultană a celor doi parametri ca efect a variației temperaturii interioare.

În consecință, este logic a afirma faptul că, variația consumului de energie funcție de calitatea pe care o asigurăm mediului interior este un fenomen real și astfel cei doi estimatori sunt

corelații. Mai jos vom prezenta variația simultană a calității mediului interior și a consumului de energie în raport cu temperatura interioară (**Figurile 6 și 7**). În aceste figuri sunt prezentate clasele de performanță energetică și de calitate a mediului interior.

Se observă că aceeași calitate a mediului interior poate fi asigurată prin două consumuri energetice diferite, datorita „simetriei” în variație a I_{CMI} în raport cu temperatura interioară, de exemplu cazurile (2) și (5) din Figura 6. Se observă de asemenea, faptul că, o calitate a mediului interior corespunzătoare clasei „A” poate fi asigurată cu valori diferite de consumuri energetice ($359,9\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an} \div 419,6\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$), deci cu valori diferite de temperatură interioară ($22,5^\circ\text{C} \div 25,5^\circ\text{C}$).

Clasa energetică reprezintă o informație relativ vagă prin care se poate caracteriza o clădire sau starea ei actuală de funcționare; de exemplu clasei energetice „F” îi corespund două clase de calitate a mediului interior, și anume: „A” sau „B”. Putem mai degrabă vorbi despre un anumit punct de funcționare (PF) care să descrie mai clar starea în operare a clădirii la un anumit moment. Acest punct de funcționare nu este caracterizat de temperatura de dimensionare (set point), ci de temperatura reală de la interior din momentul analizei (în ipoteza unui defazaj nul).

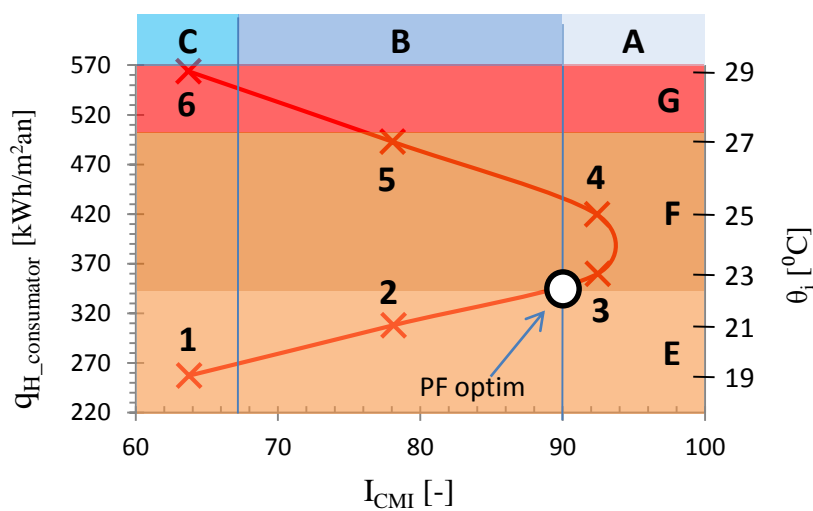


Figura 6. Covariația I_{CMI} și CE cu temperatura interioară

Reprezentarea grafică a variației I_{CMI} funcție de consumul energetic (**Figura 7**) ne ajută la determinarea relației dintre indicele de calitate a mediului interior și consumul energetic.

Astfel pentru cazul clădirii analizate s-a determinat că această relație de legătură între indicele de calitate a mediului interior și consumul energetic este o funcție polinomială de gradul 5 exprimată în ecuația (3):

$$I_{CMI} = -3 \cdot 10^{-10} q_H^5 + 6 \cdot 10^{-7} q_H^4 - 0,0005 q_H^3 + 0,1982 q_H^2 - 38,988 q_H + 3008,2 \quad (3)$$

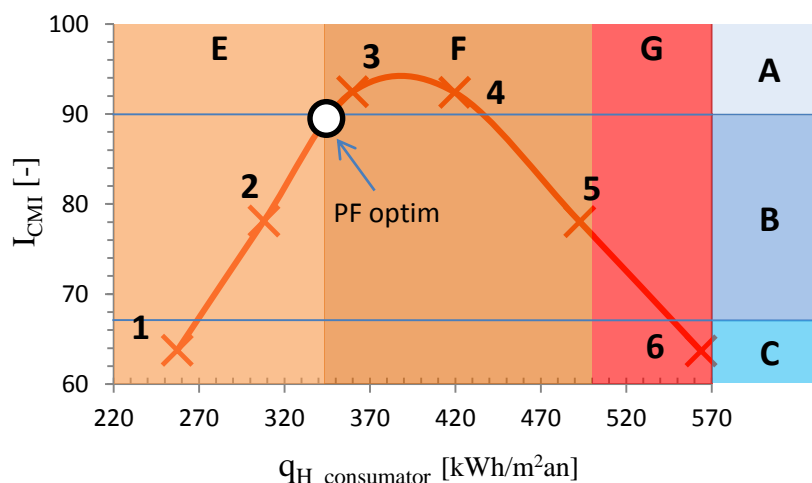


Figura 7. Covariația I_{CMI} și CE cu temperatura interioară

În urma analizei covariației I_{CMI} – q_H putem stabili un punct optim de funcționare a clădirii în privința regimului termic. Cazul (1) deși se află în cea mai bună clasă energetică, nu este totuși cel mai bun mod de exploatare pentru că temperatura interioară prea scăzută duce la o reducere inacceptabilă a indicelui de confort termic, I_{CMI} . Zona în care se atinge un maxim a calității mediului interior, cuprinsă între punctele (3) și (4) este cea caracterizată de temperaturi interioare cu valori între 22,5 și 25,5°C. Menținerea temperaturii interioare în acest interval de valori este recomandată dacă se urmărește obținerea unui confort sporit.

Cea mai bună variantă pentru obținerea unui raport optim între calitatea mediului interior și consumul energetic este menținerea la interior a temperaturii minime care asigură clasa de calitate a mediului dorită. De exemplu dacă se „țintește” clasa „B” de calitate a mediului interior punctul de funcționare optim corespunde unei temperaturi de aproximativ 22.5°C (**Figura 7**) și un consum energetic minim (aproximativ 340kWh/m²/an). O diagramă în care este prezentată relația de legătură între cei doi estimatori de proiectare și control a funcționării unei clădirii servește la adoptarea unor strategii de utilizare a clădirii ce pot conduce la diminuarea consumului energetic și păstrarea în același timp a calității mediului interior.

5. Concluzii

În acest studiu a fost analizată influența pe care temperatura interioară o are asupra unei clădiri colective de locuit din perspectiva celor două criterii de performanță: calitatea mediului interior și consumul energetic. S-a realizat un studiu de caz asupra unei clădiri existente pentru care au fost evaluați cei doi indicatori pentru clădirea suport în 6 cazuri de funcționare propuse.

În ceea ce privește calitatea mediului interior aceasta se îmbunătățește odată cu creșterea temperaturii interioare până la o limită, cuprinsă între 22 și 24 °C, după care o eventuală creștere a temperaturii atrage după sine reducerea calității mediului interior.

Legat de consumul energetic, se observă că acesta crește de o maniera parabolica, odată cu temperatura, deși după 24°C confortul din încăperi începe să scadă. Se pune astfel problema

risipei de energie constatată în regimurile de funcționare ce implică temperaturi mai mari decât 24°C. Pentru astfel de temperaturi ridicate se ajunge de fapt într-o situație anormală caracterizată simultan de o calitate scăzută a mediului interior și de un consum ridicat de energie. Cu ajutorul reprezentărilor grafice a covariației $I_{CMI} - q_H$ în raport cu temperatura s-a putut stabili care este punctul optim de funcționare pentru atingerea unei clase superioare de calitate a mediului interior cu un minim de consum energetic.

6. Acknowledgement

Această lucrare a fost realizată prin programul Parteneriate în domenii prioritare — PN II, derulat cu sprijinul MEN – UEFISCDI, proiect nr. 89/2014.

7. References

- [1] Huang, Y. C., Chu, C. L., Lee, S. N. C., Lan, S. J., Hsieh, C. H., & Hsieh, Y. P. (2013). Building users' perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities. *Building and Environment*, 67, 224-230;
- [2] Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2013). Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. *Energy and Buildings*, 60, 410-419.;
- [3] EN 7730 ISO, Moderate Thermal Environment—Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- [4] Catalina, T., & Iordache, V. (2012). IEQ assessment on schools in the design stage. *Building and Environment*, 49, 129-140.;
- [5] Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results;
- [6] Toftum, J. (2010). Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future. *Building and Environment*, 45(1), 23-28;
- [7] Huang, L., Zhu, Y., Ouyang, Q., & Cao, B. (2012). A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. *Building and Environment*, 49, 304-309.;
- [8] Toderaș, M., Determinarea experimentală a indicelui de calitate a mediului interior (lucrare de disertație), UTCB – FII 2013;
- [9] Constantinescu D., Petcu C., Petran H.A. (2010), Validarea experimentală a metodei de calcul a Performanței Energetice a Clădirilor (PEC) cu referire la încălzirea spațiilor ocupate, *Rev. Construcții* nr. 1/2010 (cod CNCSIS 892), București, ISSN 1221-270;
- [10] Metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor, indicativ MC001 – 2006;
- [11] Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, indicativ C 107/2010;