

REZUMAT AL TEZEI DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND INDICATORI DE EVALUARE ȘI
EXPLOATARE A CLĂDIRILOR PE BAZA CALITĂȚII
MEDIULUI INTERIOR ȘI A CONSUMULUI ENERGETIC**

prezentată în fața UNIVERSITĂȚII TEHNICE DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

pentru obținerea

GRADULUI DE DOCTOR

Specialitatea: **INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII**

de către

ing. TODERAȘC MIHAL-CONSTANTIN

Cuprinsul rezumatului tezei de doctorat

MULȚUMIRI	3
1. INTRODUCERE	4
2. PREZENTAREA SINTETICĂ A CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT	5
STUDIU BIBLIOGRAFIC	5
STUDIU EXPERIMENTAL	7
STUDIU STATISTIC PENTRU STABILIREA PONDERILOR	9
ANALIZA VARIAȚIILOR SIMULTANE ALE INDICELUI DE CALITATE A MEDIULUI INTERIOR ȘI CONSUMULUI DE ENERGIE	9
CONTROLUL INSTALAȚIILOR	11
3. CONCLUZII	14
BIBLIOGRAFIE	15

Mulțumiri

După cum bucuriile nu pot fi trăite decât împreună așa se întâmplă de multe ori și cu provocările: de multe ori nu pot fi trecute decât împreună. De aceea considerînd că elaborearea unei teze de doctorat reprezintă atât o provocare cât și o bucurie pentru aportul adus cunoașterii, aș vrea să mulțumesc tuturor celor care au fost alături de mine, nu numai în tipul studiilor doctorale, ci și cu mult înainte:

Mulțumesc membrilor comisiei de susținere a tezei de doctorat pentru implicarea în teza mea de doctorat, care au citit și au făcut observații pentru îmbunătățirea tezei de doctorat și pentru întocmirea rapoartelor de la susținerea publică a tezei mele de doctorat.

Mulțumiri speciale doamnei Conf. dr. ing. Ilinca Năstase, director al Școlii Doctorale, care m-a susținut la finalizarea cu bine a tezei de doctorat.

Mulțumesc membrilor departamentului Sisteme Termo - Hidraulice și Protecția Atmosferei din cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor care m-au susținut și m-au îndrumat de-a lungul tezei prin intermediul Rapoartelor de Cercetare susținute în Departament.

Un aport important pentru studiul indicilor de performanță ai clădirilor a venit din partea comisiei de îndrumare: Prof. dr. ing. Rodica Frunzulică director al departamentului STHPA, Conf. dr. ing. Andrei Damian, vice președinte al Senatului UTCB, și Prof. dr. ing. Florin Iordache care au avut răbdarea de a verifica lucrarea în toate stadiile sale și de a oferi indicații prețioase pentru atingerea obiectivelor propuse.

Le mulțumesc, de asemenea colegilor mei de la INCERC București, în special colectivului de eficiență energetică și acustica clădirilor: dr. ing. Cristian Petcu, dr. ing. Horia Petran, ing. Melania Cruceanu și tehn. Neagu Marin care mulțumită experienței lor și cu o bucurie vădită de a sări în ajutor au reușit să creeze un mediu de lucru potrivit și să intervină în momentele cele mai dificile astfel încât să pot continua fără nicio piedică această teză.

Mulțumesc celui care a făcut posibilă demararea și ducerea la bun sfârșit a acestei lucrări, conducătorului de doctorat prof. dr. ing. Vlad Iordache, fără de care mi-e greu să cred că aș fi ales această cale.

Mulțumesc familiei care m-a susținut mereu: tatălui Mihăiță Toderașc, mamei Maria Toderașc, vărului Căiuțeanu Adrian; prietenilor mei: Marius Daniel Andrei, Irina Călin și Moșneguțu Valerica.

Și mai mult decât orice mulțumesc lui Dumnezeu fără de care nu s-ar face nimic.

1. Introducere

Implementarea certificatelor energetice pentru clădiri a adus beneficii importante în ceea ce privește reducerea consumului de energie din sectorul construcțiilor și a dus la creșterea așteptărilor utilizatorilor de clădiri în ceea ce privește performanțele energetice ale clădirilor. Totuși, reducerea consumurilor de energie din domeniul construcțiilor trebuie să se facă ținând seama de necesitatea de a asigura la interiorul clădirilor un mediu sănătos, potrivit pentru desfășurarea diverselor activități ale ocupanților. De aceea declararea performanței energetice a clădirilor este mult mai utilă dacă este corelată cu declararea performanței din punct de vedere a calității mediului interior care caracterizează clădirea.

Teza de doctorat „Cercetări privind indicatori de evaluare și exploatare a clădirilor pe baza calității mediului interior și a consumului energetic” are ca obiect de studiu utilizarea eficientă a energiei în clădiri, cu focalizare asupra modului în care se poate optimiza raportul calitatea mediului interior – consum energetic în vederea ameliorării consumului prin menținerea parametrilor de confort în limite acceptabile. Pentru aceasta am efectuat analiza influenței pe care cei doi indicatori de performanță (calitatea mediului interior, I_{CMI} , și consumul energetic ,CE) o exercită unul asupra celuilalt.

Deși evaluarea clădirilor din punct de vedere energetic dar și din punct de vedere a calității mediului interior reprezintă o preocupare constantă a cercetătorilor, totuși nu există studii în care să fie studiată coralația dintre indicatorii de performanță ai clădirilor. De aceea acest studiu de bază referitor la relația dintre I_{CMI} și CE dar și la posibilitatea de reglare a instalațiilor de încălzire și ventilare ținând seama simultan de ambii indicatori va deschide noi perspective de cercetare pentru îmbunătățirea mediului construit.

Punctul de plecare pentru obținerea unei metode de reglare optime a instalațiilor îl reprezintă studiul experimental al relației dintre variația indicelui de calitate a mediului interior (I_{CMI}) și variația consumului energetic și identificarea celor mai influenți parametri asupra I_{CMI} și CE. Clădirea experimentală din incinta Institutului de cercetare INCD URBAN INCERC, sucursala București, a fost utilizată drept suport pentru cercetările experimentale în urma cărora am obținut valori ale parametrilor fizici, utili pentru determinarea variației în timp a indicelui de calitate a mediului interior (I_{CMI}) și a consumului energetic (CE).

Importanta legaturii dintre cei doi indicatori de evaluare și proiectare a clădirilor constă în faptul că aceștia pot fi utilizați pentru identificarea strategiilor inteligente de ventilare. Aceste strategii trebuie să asigure o bună calitate a mediului interior dar cu un consum cât mai redus. O astfel de metodă a fost elaborată în cadrul acestei teze de doctorat și este prezentată sub forma unui studiu de caz. Prin adoptarea drept reper de reglaj al instalațiilor de ventilare, climatizare și încălzire a perechii de indicatori de performanță (I_{CMI} , CE) se vor putea obține economii de energie față de situația în care instalațiile de confort sunt reglate doar pe baza parametrilor de confort interior.

2. Prezentarea sintetică a capitolelor tezei de doctorat

Teza de doctorat denumită „Cercetări privind indicatori de evaluare și exploatare a clădirilor pe baza calității mediului interior și a consumului energetic” este structurată în 5 capitole principale, fiecare constituindu-se ca un pas necesar spre atingerea obiectivelor propuse. Cele 5 capitole sunt precedată de o introducere în care sunt indicate obiectivele cercetărilor efectuate în cadrul acestei lucrări precum și metodele de lucru întrebuintate.

Studiu bibliografic

În **capitolul 2 „Studiu bibliografic”** am realizat o analiză a literaturii de specialitate pentru a evidenția motivele care stau la baza necesității de a studia atât calitatea mediului interior și performanța energetică a construcțiilor precum cât legătura dintre aceste două aspecte din domeniul construcțiilor. De asemenea acest capitol cuprinde o sinteză acelor mai noi metode de evaluare a performanțelor clădirilor.

Calitatea mediului interior și eficiența energetică pentru sectorul construcțiilor sunt două domenii a căror importanță se dovedește a fi mai mare decât se credea inițial și asupra cărora se concentrează tot mai mult atenția cercetătorilor în condițiile în care se estimează că în țările civilizate între 80 % și 90 % din timp este petrecut la interior (Kembel et. al., 2012; Mendes et. al., 2014). Calitatea mediului interior afectează pe lângă sănătatea ocupanților (Quang et. al., 2014) și productivitatea ocupanților, fapt care de multe ori reprezintă factorul decisiv pentru începerea lucrărilor de reabilitare mai ales la clădirile de birouri (Heinzerling et. al., 2013; Sarbu și Sebarchievici, 2013). O altă cauză a atenției crescânde acordată calității mediului interior o reprezintă și faptul că odată cu progresul în domeniul ingineriei civile și instalațiilor, cerințele indivizilor legate de confort au devenit mult mai exigente, fapt demonstrat și de adoptarea de standarde care tratează calitatea mediului interior (EN 15251 - valori ale parametrilor interiori, EN ISO 7730 - indici de confort, PMV și PPD, ASHRAE Standard 62.1 (2004) sau CEN 1752 - calitatea aerului interior, confort termic și zgomot)

În același timp se pune tot mai mult problema consumului energetic. Numeroase statistici arată că sectorul construcțiilor se află în topul consumatorilor de energie. Acesta se face responsabil de consumul a 40% din energia total consumată la nivel global. În Europa, din această fracțiune, 76% este utilizată pentru climatizarea încăperilor (Gruber et. al., 2014). O creștere însemnată a consumului a avut loc odată cu răspândirea sistemelor HVAC și este strâns legată de nevoia de îmbunătățirea calității mediului în mediul construit (Yang et. al., 2014). Astfel, în ceea ce privește consumul energetic, sectorul construcțiilor se află pe primul loc devansând sectoare precum transportul și industria (Xia et. al., 2014). Dacă în 2010 consumul mediu de energie era de 2055 kWh/persoană/an este de așteptat ca în 2030 acest consum să fie de 2200 kWh/persoană/an.

Din punct de vedere a parametrilor care sunt utilizați pentru evaluarea gradului de confort sau a calității mediului de la interiorul clădirilor, se pot observa două moduri de abordare

întâlnite frecvent: prima categorie cuprinde studiile care evaluează ambianța interioară prin prisma unui singur parametru de confort, iar cea de-a doua categorie cuprinde studiile în care calitatea mediului interior este stabilită ținând cont de mai mulți parametri ai microclimatului. Dintre studiile care vizează un singur parametru de confort, cele mai multe fac referire doar la confortul termic studiat prin metoda lui Fanger, anume calculul indicilor PMV și PPD (Pei et. al., 2015). Altele se referă la calitatea aerului interior (Toftum, 2010). Studiile din cea de-a doua categorie sunt cele încearcă să combine diferite tipuri de confort într-un singur indicator care să caracterizeze starea mediului interior numit indice de calitate a mediului interior, I_{CMI} (Heinzerling et. al., 2013). Acest indice este folosit adesea pentru notarea clădirii pentru care se calculează sau pentru predicția calității mediului interior în cazul clădirilor aflate în faza de proiectare. Indicele de calitate a mediului interior este considerat în majoritatea studiilor ca fiind compus din patru tipuri de confort: confortul termic, calitatea aerului interior, confortul acustic și confortul vizual. Cele patru tipuri de confort sunt evaluate pe baza chestionarelor sau pe baza valorilor parametrilor fizici din care acestea derivă (temperatura aerului interior, nivelul de iluminare, nivelul de presiune acustică, debitul de aer pentru ventilație). Cu ajutorul mărimilor fizice măsurate se calculează o serie de sub-indici care împreună cu ponderile aferente compun indicele de calitate a mediului interior.

În ceea ce privește calculul indicelui de calitate a mediului interior, există trei moduri principale de abordare. Calculul indicelui de calitate a mediului interior bazat doar pe criterii subiective utilizează doar răspunsurile ocupanților la o serie de întrebări legate de senzația resimțită în interiorul unei clădiri. Studiile sociologice reprezintă cele mai simple și mai puțin costisitoare metode de evaluare a I_{CMI} . Calculul indicelui de calitate a mediului interior bazat doar pe criterii obiective presupune măsurarea parametrilor care afectează confortul interior și compararea valorilor măsurate cu un set de valori de referință astfel încât să se poată stabili căror clase de confort corespund măsurările (Marino, 2012). Modul de calcul al indicelui de calitate a mediului interior bazat atât pe criterii obiective cât și pe criterii subiective este prezentat schematic în figura 1. Acest mod presupune corelarea rezultatelor provenite din măsurări ale parametrilor microclimatului interior cu rezultate provenite din studii sociologice și prelucrarea acestora cu ajutorul unor ecuații ce permit determinarea indicilor pentru anumite tipuri de confort.

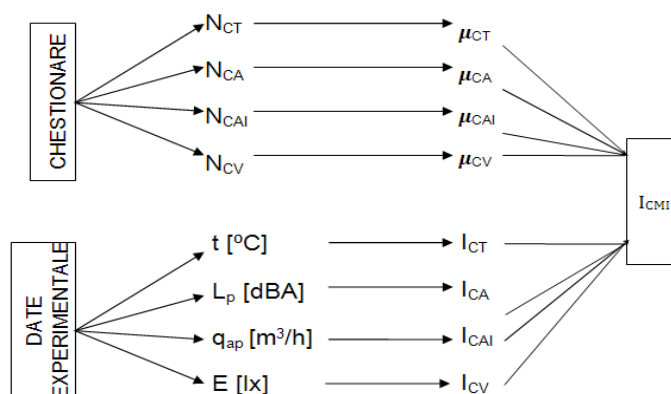


Figura 1. Principiul modului subiectiv-obiectiv de determinare a I_{CMI}

Dintre cele trei metode, cea care folosește măsurări experimentale și chestionare ar trebui utilizată cu preponderență deoarece s-a observat că aceasta este mult mai precisă în predicția calității mediului interior (Ncube și Riffat, 2012).

Având în vedere că nu există o metodă general acceptată de determinare a CMI, nu există nici o schemă unitară de clasificare, dar în majoritatea cazurilor, metodele de evaluare a CMI existente în literatura de specialitate au și câte o schemă de clasificare asociată. Clasificarea indicelui de calitate a mediului interior conform metodei de determinare utilizată în această lucrare se face conform schemei prezentate în figura 2.

	IEQ/Inputs class and star rating				
	Class A ★★★★	Class B ★★★★	Class C ★★★	Class D ★★	Class E ★
θ_{op} (°C) –winter	≥ 21.5	20.5–21.5	19.5–20.5	18–19.5	< 18
θ_{op} (°C) –summer	≤ 24.5	25–26	26–27	27–28	> 28
E_{av} (lx)	≥ 300	250–300	200–250	100–200	< 100
L_{pi} (dBA)	≤ 30	30–40	40–50	50–60	> 60
Q_{air} (m ³ /h/person)	≤ 36	25–36	15–25	10–15	< 10
IEQ index (–)	> 90	67.5–90	32.5–67.5	10–35.5	< 10

Figura 2. Clasificarea I_{CMI} (Catalina și Iordache, 2012)

Spre deosebire de domeniul calității mediului interior, cel al eficienței energetice în clădiri este unul studiat de mai multă vreme datorită conștientizării atât la nivelul populației dar și la nivelul guvernelor a importanței reducerii consumului energetic. Astfel, au fost adoptate măsuri obligatorii sau neobligatorii sub forma standardelor sau a convențiilor (Newsham et. al., 2012) care s-au dovedit a fi instrumente esențiale pentru reducerea consumurilor de energie în clădiri (Pérez et. al., 2011). Totuși, estimarea necesarului de energie pentru încălzirea și răcirea clădirilor rămâne o provocare, mai ales că e aproape imposibil să fie luate în calcul toate variabilele, cum ar fi nivelul real de ocupare, degajări de căldură provenite de la sistemul de iluminare sau alte degajări interioare (Catalina et. al., 2013). Factorii care sunt luați în considerare în diversele modele din literatura de specialitate pentru estimarea consumului de energie pot fi grupați în trei categorii: parametrii mediului exterior, caracteristicile clădirii și ocupanții. Pentru evaluarea eficienței energetice, cantitatea de energie necesară pentru asigurarea condițiilor interioare de locuit poate fi determinată mult mai precis prin măsurare decât prin aplicarea modelelor de predicție. Utilitatea evaluării este și mai mare dacă există posibilitatea corelării cu modele de predicție a indicelui de calitate a mediului interior.

Studiu experimental

În **capitolul 3 „Studiu experimental”** este descrisă campania de măsurări și monitorizare pe care am efectuat-o pentru clădirea experimentală din incinta INCERC București (figura 3) în perioada noiembrie 2015-martie 2016. Aceasta este o clădire de locuit având un singur

apartament cu: o cameră de zi, două dormitoare, o bucătărie, o cameră cu duș, sas, hol, pridvor.



Figura 3. Clădirea experimentală (A) și clădirile învecinate (B, C, D)

Sursa de căldură pentru asigurarea condițiilor optime la interiorul clădirii în sezonul rece o reprezintă centrala termică automatizată funcționând cu energie electrică. Reglarea temperaturii interioare este posibilă mulțumită termostatului de cameră.

Parametrii necesari pentru calculul indicelui de calitate a mediului interior corespunzător clădirii experimentale au fost măsurați cu ajutorul unui sistem de achiziție (DataTaker 505) și a aparatelor de măsură individuale. Un al doilea sistem de achiziție de date a fost utilizat stabilirea puterii consumate la nivelul sursei de încălzire. Parametrii mediului interior au fost măsurați în mai multe puncte ai clădirii experimentale (figura 4) ceea ce a permis întocmirea unor hărți de variație a I_{CMI} în clădirea experimentală. Baza de date întocmită este alcătuită din valorile măsurate între 26.01.2016 și 04.03.2016.

Debitul de aer introdus în clădire (necesar pentru calculul indicelui de calitate a aerului interior) a fost calculat utilizând distribuția de viteze a aerului prin conducta de transport stabilită prin măsurare cu ajutorul unui anemometru cu fir cald. Pentru verificare am utilizat un debitmetru de aer cu elice.

Pentru calculul indicelui de confort vizual am măsurat nivelul de iluminare din încăperile clădirii analizate. Măsurarea nivelului de iluminare s-a făcut, pentru sufragerie, în nouă puncte aflate la distanțe agale între ele și față de pereți, iar pentru celelalte încăperi (dormitor NV, dormitor SV și bucătărie) în câte un punct din centrul fiecăreia.

Pentru determinarea indicelui de confort acustic de la interiorul clădirii experimentale INCERC am măsurat nivelul de presiune acustică în 11 puncte. Am considerat 13 scenarii de ventilare în funcție de funcționarea ventilatorului (singura sursă de zgomot la interior) pentru care măsurarea nivelului de presiune acustică s-a făcut în fiecare dintre cele 11 puncte stabilite.

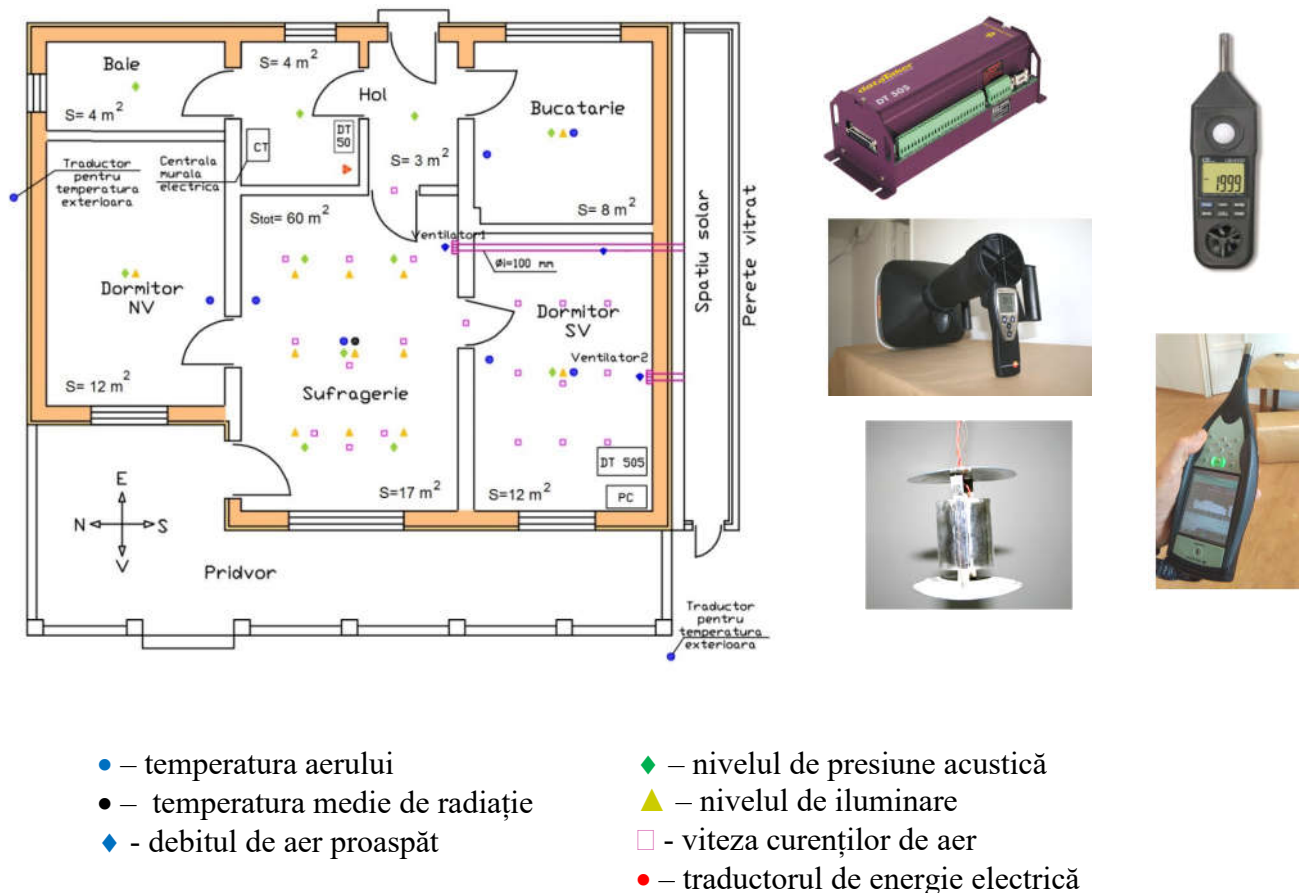


Figura 4. Punctele de măsură

Studiu statistic pentru stabilirea ponderilor

În capitolul 4 „**Studiu statistic pentru stabilirea ponderilor**” este prezentat modul în care am stabilit ponderile atribuite incizilor de confort (indicele de confort termic, indicele de calitate a aerului interior, indicele de confort acustic și indicele de confort vizual) la calculul indicelui de calitate a mediului interior. Studiul statistic s-a desfășurat prin efectuarea unui sondaj de opinie despre părerea ocupanților în ceea ce privește importanța fiecărui tip de confort. Conform chestionarelor, calitatea aerului interior este factorul care influențează cel mai mult I_{CMI} (26,3 %), urmat de confortul termic (25,1 %), confortul vizual (24,4 %) și confortul acustic (24,1 %).

Analiza variațiilor simultane ale indicelui de calitate a mediului interior și consumului de energie

În capitolul 5 „**Analiza variațiilor simultane ale indicelui de calitate a mediului interior și consumului de energie**” sunt prezentate variațiile indicilor de confort, variația nivelului de calitate a mediului interior pentru clădirea experimentală pe perioada măsurărilor și gradul de corelare între calitatea mediului interior și consumul de energie.

Reprezentarea grafică a variației indicelui de calitate a mediului interior pentru sufragerie, $I_{CAI_sufragerie}$, (curba roșie din Figura 5) scoate în evidență existența a patru perioade

corespunzătoare unor indici de calitate a mediului interior diferiți. Cele patru perioade se observă și din reprezentarea consumului orar de energie în funcție de valorile orare ale indicelui de calitate a mediului interior (figura 7):

- grupul de puncte C1, este format din perechile de puncte (I_{CMI} , CE) corespunzătoare perioadei de noapte;
- grupul de puncte C2, este format din perechile de puncte (I_{CMI} , CE) corespunzătoare perioadelor de tranziție din zi (dimineața și seara);
- Grupul de puncte B, este format din perechile de puncte (I_{CMI} , CE) care corespund celei mai mari perioade a zilei (10:00 - 15:30 și 16:40 - 18:00);
- Grupul de puncte A, este format din perechile de puncte (I_{CMI} , CE) care corespund intervalului orar 15:30 - 16:40.

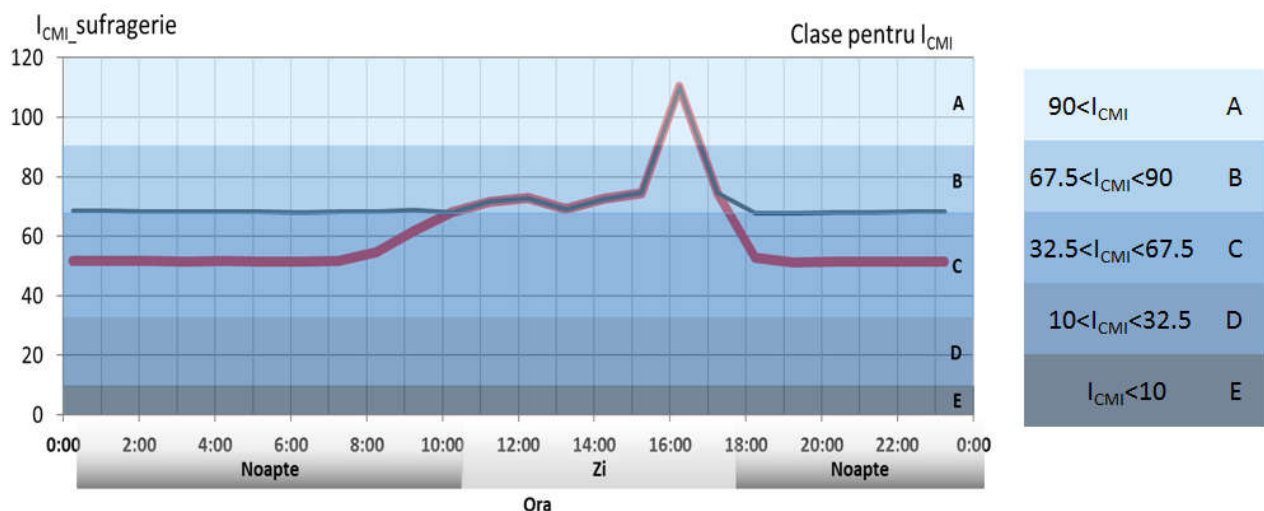


Figura 5. Variația indicelui de calitate mediului interior; curba roșie – ponderi constante ale indicilor de confort; curba neagră – ponderi variabile ale indicilor de confort

Analiza statistică a datelor furnizate a fost realizată utilizând un program specializat pentru statistică, de calcul tabelar. În urma analizei am constatat distribuțiile I_{CMI} și CE nu corespund unei repartiții normale. În consecință, ne așteptăm ca un model neliniar să descrie relația dintre I_{CMI} și CE. Pentru stabilirea gradului de corelație dintre cei doi indicatori am calculat coeficientul neparametric Spearman ρ , (figura 7) de corelație a rangurilor (Wonnacott și Wonnacott, 1990). Valorile coeficienților de corelație arată că cei doi parametri sunt invers corelați.

CE [kWh] și încadrarea în clase energetice pentru sufragerie

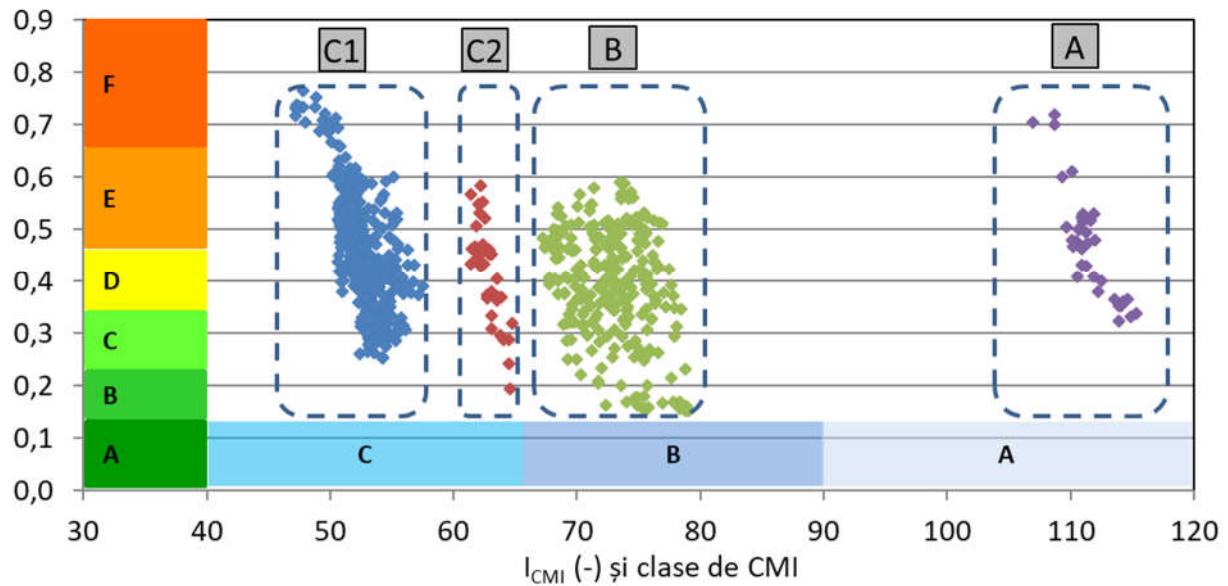


Figura 6. Relația dintre I_{CMI} și CE. Grupul A corespunde orelor de după-amiază; Grupul B sunt măsurările din timpul amiezii, Grupul C1 corespunde măsurărilor din timpul nopții; Grupul C2 corespunde perioadelor de tranziție noapte – zi.

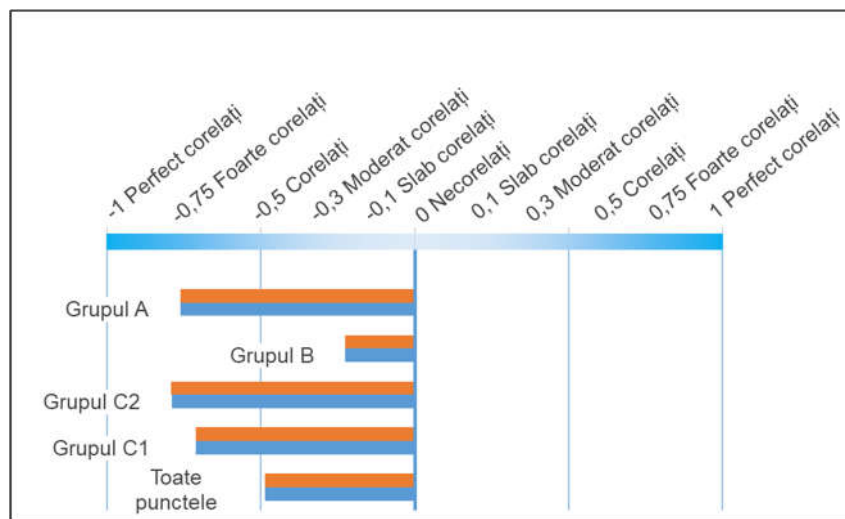


Figura 7. Coeficienții de corelație Spearman pentru I_{CMI} și CE; ■ calculați cu valorile neadimensionalizate; ■ calculați cu valorile adimensionalizate.

Controlul instalațiilor

În capitolul 6 „Controlul instalațiilor” am prezentat o nouă metodă pentru alegerea punctului optim de reglare a instalațiilor pe baza indicelui de calitate a mediului interior și consumului de energie.

Dintre factorii care contribuie starea mediului interior: confortul termic, calitatea aerului interior, confortul acustic și confortul vizual, s-a constatat că primii doi cauzează cea mai mare parte a consumului energetic al unei clădiri fiind și cel mai frecvent modificați pentru ajustarea calității mediului interior. Analiza relațiilor indice de confort termic – consum energetic și indice de calitate a aerului interior – consum de energie a fost structurată sub formă de studii de caz.

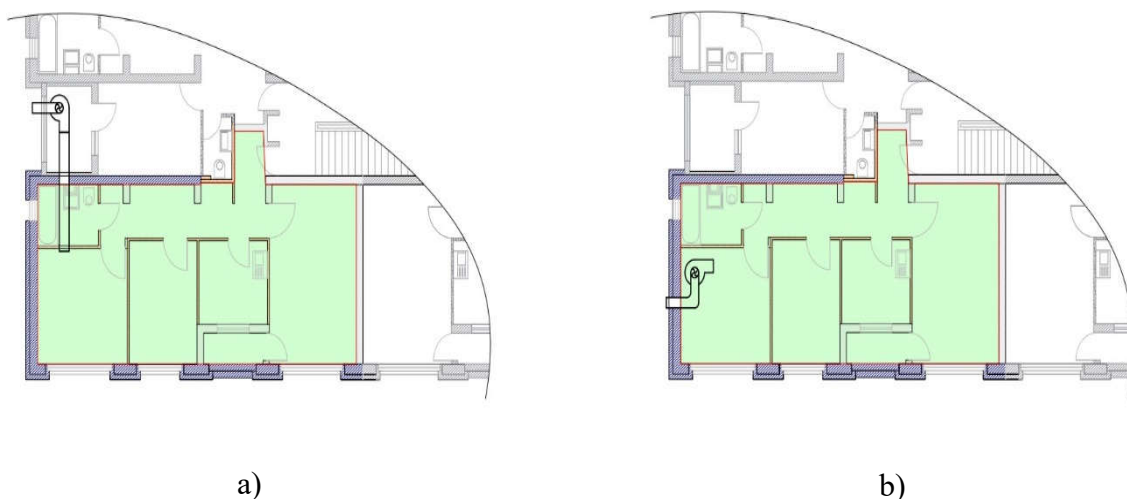


Figura 8. Poziționarea ventilatorului în cele două situații constructive

Pentru a înțelege efectele suprapuse ale θ_i și n_a asupra I_{CMI} și CE am calculat cei doi indici pentru 420 de puncte de reglaj (variația temperaturii interioare între 17 și 27 °C la intervale de 0,5 °C și a numărului de schimburi de aer între 0,1 și 2 h⁻¹ la intervale de 0,1 h⁻¹) a instalațiilor de ventilare și încălzire considerând două soluții constructive pentru instalația de ventilare: A – ventilatorul se află în exteriorul apartamentului ceea ce înseamnă că nu produce zgomot la interior; B – ventilatorul se află în interiorul apartamentului afectând confortul acustic (figura 8).

Rezultatele au fost afișate sub formă de grafice 3D din care se pot observa ușor interdependența dintre parametrii mediului ambiant, calitatea mediului interior și necesarul de energie pentru încălzire, dar și comportamentul diferit al clădirii pentru cele două soluții constructive propuse (figura 9).

În Figura 10 sunt prezentate proiecțiile în planul axelor θ_i și n_a a variațiilor indicilor de performanță ai clădirii I_{CMI} și CE (exprimat prin necesarul specific anual de energie pentru încălzire). Această suprapunere a curbelor de variație pentru I_{CMI} și a CE se dovedește a fi un instrument eficient de identificare a punctului optim de funcționare a instalației de climatizare. Punctul de funcționare căutat se va alege astfel încât calitatea mediului interior să se încadreze în clasa A cu un consum de energie cât de mic posibil. Căutând punctele care îndeplinesc aceste două condiții am identificat, ci o gamă de puncte optime de funcționare pentru fiecare variantă constructivă analizată (zona umbrită din Figura 10).

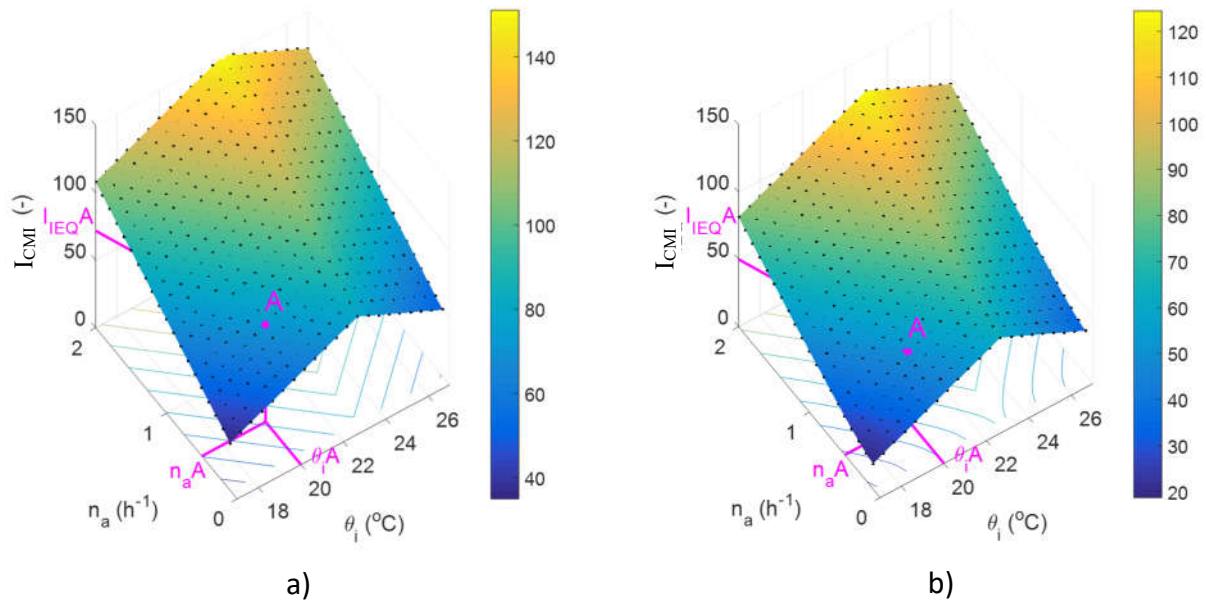


Figura 9. Variația indicelui de calitate a mediului interior datorită temperaturii interioare și a numărului de schimburi de aer: a) situația cu ventilatorul la exterior; b) situația cu ventilatorul la interior.

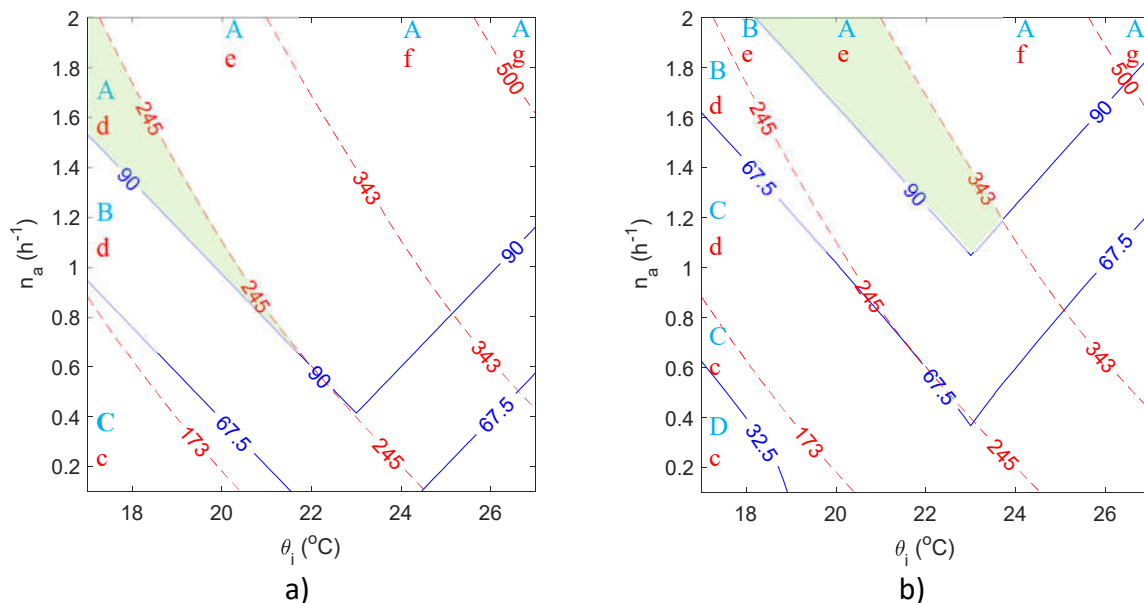


Figura 10. Variațiile simultane ale I_{CMI} și CE în funcție de temperatura interioară și de numărul de schimburi de aer: a) situația cu ventilatorul la exterior; b) situația cu ventilatorul la interior.

În cazul în care utilizarea preconizată a clădirii impune condiții suplimentare pentru θ_i și n_a , reprezentarea din Figura 10 poate fi adaptată pentru găsirea punctului sau zonei optime de funcționare a instalației de climatizare. Ca exemplificare, considerăm că activitățile care se desfășoară în apartamentul analizat necesită temperaturi interioare cuprinse între 22 și 26 °C. Ca urmare, reglarea optimă a instalației se va realiza conform graficului din Figura 11.

Chiar dacă rezultatele acestei analize se potrivesc doar celor două situații propuse, metoda de identificare a zonei de reglaj optim poate adaptată și pentru alte clădiri prin impunerea de condiții suplimentare (limite ale temperaturii interioare, limite pentru debitul de aer proaspăt etc.)

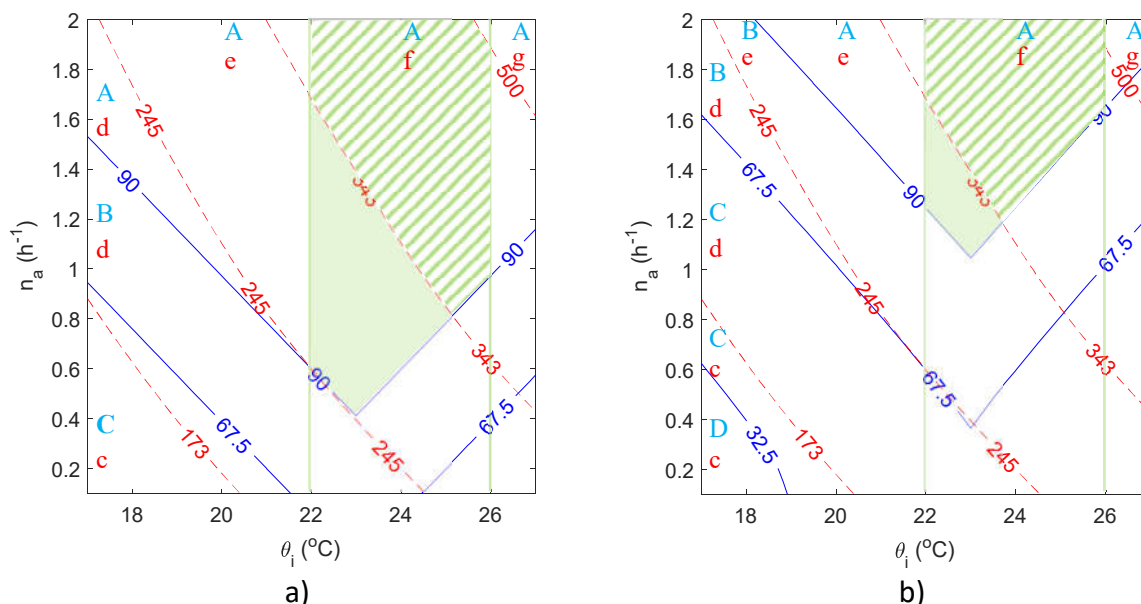


Figura 11. Variațiile simultane ale I_{CMI} și CE în funcție de temperatura interioară și de numărul de schimburi de aer: a) situația cu ventilatorul la exterior; b) situația cu ventilatorul la interior. ; zona de reglaj optim; zona extinsă de reglaj.

3. Concluzii.

În cazul calității mediului interior nu există modele standardizate de calcul dar se remarcă 3 moduri principale de abordare: metode subiective, metode obiective și metode subiectiv-obiective. În situațiile obișnuite evaluarea calității mediului interior printr-un indice care cuprinde confortul termic, confortul vizual, calitatea aerului interior și confortul acustic oferă o viziune suficient de detaliată asupra unei ambianțe interioare din punct de vedere a confortului.

Parametrii mediului interior alături de proprietățile termo-fizice ale elementelor de construcție sunt principalii factori care au influență directă asupra consumului de energie și asupra calității mediului. Până la acest moment nu a existat niciun demers pentru a analiza corelația dintre indicele de calitate a mediului interior și consumul energetic al unei clădiri. Studiul de față reprezintă o noutate în domeniul indicatorilor de performanță ai clădirilor deoarece este axat pe analiza variațiilor simultane a indicelui de calitate a mediului interior și consumului energetic.

Analiza covariației are la bază valori măsurate ale parametrilor de mediu dar și ale consumului de energie pentru o clădire de locuit, unifamilială, la scară naturală. Măsurările în clădirea experimentală s-au desfășurat în perioada noiembrie 2016 – martie 2017. Baza

de date obținută conține valori ale mărimilor fizice care permit calculul indicilor confort și de calitate mediului interior cu pas de o oră. Din punct de vedere a variațiilor simultane ale I_{CMI} și CE am stabilit că există o corelație puternică între cei doi. Influența reciprocă dintre indicatorii de performanță este mai accentuată în momentele în care unul dintre indicii de confort, respectiv un parametru al mediului interior ia valori extreme.

Pentru găsirea punctului optim de reglaj al instalațiilor am elaborat o metodă care ține seama de ambii indicatori de performanță: indicele de calitate a mediului interior și de consumul energetic. Metoda constă în reprezentarea curbelor de variație ale ambilor indicatori pe un grafic și identificarea zonei în care sunt îndeplinite condițiile de calitate a mediului interior cerute și de consum minim. Metoda poate fi utilizată și pentru alte clădiri. dar poate fi îmbunătățită prin dezvoltarea unor variațiuni ale acestora care să fie dedicate anumitor tipuri de clădiri și destinații de utilizare.

Analiza corelației dintre indicatorii de performanță cu ajutorul măsurărilor experimentale poate reprezenta un punct de plecare pentru o analiză ulterioară prin simulări numerice. Printr-o astfel de analiză rezultatele privind corelația I_{CMI} și CE se pot extinde la o gamă mai largă de clădiri și de condiții climatice. Impactul potențial al rezultatelor vizează în primul rând deschiderea unei noi direcții de cercetare în privința evaluării calității spațiului construit.

Bibliografie

- Abbaszadeh S. et. al., (2006), Occupant satisfaction with indoor environmental quality in green buildings.
- Alhaj Hasan O. et. al., (2014), A simplified building thermal model for the optimization of energy consumption: Use of a random number generator, *Energy and Buildings*, **82**, 322-329.
- Asociația Inginerilor de Instalații din România, (2010), *Manualul de instalații, sisteme de iluminat, instalații electrice și de automatizare*, In: *Enciclopedia tehnică de instalații*, Artenco, București,
- Asociația inginerilor de instalații din România, (2010), *Instalații de încălzire*, In: *Enciclopedia tehnică de instalații. Manualul de instalații*, Artenco București,
- ASTM Committee E20, (1993), *Typical Thermocouple Designs*, In: *Manual on the use of thermocouples in temperature measurement*, ASTM Committee E20 on Temperature Measurement,
- Atanasiu B. și Petran H., (2012), Implementarea clădirilor cu consum de Energie aproape zero (nZEB) în România.
- Aurora P., (2011), Poluarea acustică și acțiunea ei asupra organismului uman, A IX-a conferință Națională multidisciplinară cu participare internațională „Profesorul Dorin Pavel fondatorul hidroenergeticii românești”.
- Aydinalp-Koksal M. și Ugursal V. I., (2008), Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector, *Applied Energy*, **85**, 271-296.
- Benton C. et. al., (1990), A field measurement system for the study of thermal comfort.
- Bliuc I. și Baran I., (2006), Calitatea mediului interior și eficiența energetică a clădirilor., *INTERSECTII/INTERSECTIONS*, **3(4)**.
- Brager G. et. al., (2004), Operable windows, personal control and occupant comfort, *UC Berkeley. Envelope Systems*, **4695 (RP-1161)**, 17-35.

- C107, (2005), Legislative act regarding to thermotechnical calculation of the buildings construction parts. (in Romanian), Normative, The Ministry of Transport of Romania
- C 125, (2013), Normativ privind acustica în construcții și zone urbane. , Reglementare tehnică, Ministerul dezvoltării regionale și administrației publice
- Catalina T. și Iordache V., (2012), IEQ assessment on schools in the design stage, *Building and Environment*, **49**, 129-140.
- Catalina T. et. al., (2013), Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand, *Energy and Buildings*, **57**, 302-312.
- Chiang C. M., Chou, P. C., Lai, C. M., & Li, Y. Y. , (2001), A methodology to assess the indoor environment in care centers for senior citizens, *Building and Environment*, **36**, 561-568.
- Chihaia M. *Consumul de energie într-o locuință și cum poate fi el influențat*. 2010 [accesat 2018 10.01]; Disponibil la: http://apollo.eed.usv.ro/~elev6/date_energie.html.
- Choi J.-H. et. al., (2012), Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines, *Energy and Buildings*, **46**, 167-175.
- Constantinescu D., (2008), Asigurarea confortului termic și fiziologic în condițiile unui consum redus de energie în spațiile ocupate, *Contract* 342.
- Constantinescu D., (2010), In: *Tratat de inginerie termică. Termotehnica în construcții*, 1, AGIR, București,
- Constantinescu D. et. al., (2009), Anvelope inteligente cu funcțiuni de utilizare a exergiei mediului pentru clădiri cu confort ridicat și consum energetic redus, *Contract nr. 31-055/2007*.
- Constantinescu D., Petran, H., Petcu, C., (2005), Impactul soluțiilor moderne de reabilitare energetică a clădirilor existente asupra performanței energetice și economice a acestora în contextul prevederilor directivei europene 2002/91/EEC, *Contract nr. 6B02/2003*.
- Constantinescu D., Petran, H., Petcu, C., (2008), Modul de determinare și procedura de calcul a performanței energetice a clădirilor dotate cu instalații de răcire / ventilare/ climatizare, *Contract nr. 340, INCERC*.
- DataTaker Pty Ltd, (2002), In: *DataTaker DT50, DT500 and DT600 Manual — A Concise Reference UM-0076-A0*, DataTaker Pty Ltd, Australia — Melbourne,
- DataTaker Pty Ltd, In: *Getting Started with DT50, DT500 and DT600 Series dataTakers UM-0073-A0*, DataTaker Pty Ltd, Australia — Melbourne,
- Dong B. et. al., (2005), Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region, *Energy and Buildings*, **37**, 545-553.
- EN 15251, (2007), Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics., European standard, European Committee for Standardization
- Escrivá-Escrivá G. et. al., (2011), New indices to assess building energy efficiency at the use stage, *Energy and Buildings*, **43**, 476-484.
- Fadeyi M. O. et. al., (2014), Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates, *Frontiers of Architectural Research*, **3**, 166-177.
- Frontczak M. și Wargocki P., (2011), Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, *Building and Environment*, **46**, 922-937.
- Ghahramani A. et. al., (2014), A knowledge based approach for selecting energy-aware and comfort-driven HVAC temperature set points, *Energy and Buildings*, **85**, 536-548.
- Gruber M. et. al., (2014), Alternative strategies for supply air temperature control in office buildings, *Energy and Buildings*, **82**, 406-415.
- Heinzerling D. et. al., (2013), Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme, *Building and Environment*, **70**, 210-222.

- Holopainen R. et. al., (2015), Primary energy performance and perceived indoor environment quality in Finnish low-energy and conventional houses, *Building and Environment*, **87**, 92-101.
- Huang L. et. al., (2012), A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices, *Building and Environment*, **49**, 304-309.
- Humphreys M. A., (2005), Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable?, *Building Research & Information*, **33**, 317-325.
- I5, (2010), Normativ pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor de ventilare și climatizare, Normativ, Ministerul dezvoltării regionale și turismului
- Iordache V. și Catalina T., (2012), Acoustic approach for building air permeability estimation, *Building and Environment*, **57**, 18-27.
- 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, International standard, ISO
- Kembel S. W. et. al., (2012), Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome, *The ISME journal*, **6**, 1469.
- Kim H., (2012), In: *Methodology for rating a building's overall performance based on the ASHRAE/CIBSE/USGBC performance measurement protocols for commercial buildings*, Texas A&M University,
- Kim J. et. al., (2013), Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ), *Building and Environment*, **70**, 245-256.
- Kim M.-H. et. al., (2013), Feasibility of building envelope air leakage measurement using combination of air-handler and blower door, *Energy and Buildings*, **62**, 436-441.
- Lai A. et. al., (2009), An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings, *Energy and Buildings*, **41**, 930-936.
- Lee S. et. al., (2015), In search for modeling predictive control of indoor air quality and ventilation energy demand in subway station, *Energy and Buildings*, **98**, 56-65.
- Li Q. et. al., (2013), A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with thick rammed earth wall, *Energy and Buildings*, **62**, 286-293.
- Liang H. et. al., (2014), Satisfaction of occupants toward indoor environment quality of certified green office buildings in Taiwan, *Building and Environment*, **72**, 232-242.
- Lü X. et. al., (2014), A novel dynamic modeling approach for predicting building energy performance, *Applied Energy*, **114**, 91-103.
- Lutron Electronic, In: *Anemometer, Humidity meter, Light Meter, Thermometer, Sound level meter model LM-8102 - Operation Manual*,
- Ma Y. et. al. Study on power energy consumption model for large-scale public building. in *Intelligent Systems and Applications (ISA), 2010 2nd International Workshop on*. 2010. IEEE.
- Magoulès F. et. al., (2013), Development of an RDP neural network for building energy consumption fault detection and diagnosis, *Energy and Buildings*, **62**, 133-138.
- Marino C., Nucara, A., & Pietrafesa, M, (2012), Proposal of comfort classification indexes suitable for both single environment sandwhole buildings, *Building and Environment*, **57**, 58-67.
- MC 001, (2006), Metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor. Partea a III - a Auditul și certificatul de performanță al clădirii, Normativ, Universitatea tehnică de construcții București
- Mendes A. et. al., (2014), Indoor air quality and thermal comfort in elderly care centers, *Urban Climate*.
- Moazzami M. et. al., (2013), A new hybrid day-ahead peak load forecasting method for Iran's National Grid, *Applied Energy*, **101**, 489-501.

- Moşneguţu V. şi Chiroiu V., (2008), Contribuţii privind dinamica sistemelor cu frecare cu aplicaţii în controlul vibraţiilor şi al amortizării, teză de doctorat.
- Mui K. şi Chan W., (2005), A New Indoor Environmental Quality Equation for Air-Conditioned Buildings, *Architectural Science Review*, **48**, 41-46.
- NABERS, (2010), The indoor environment. National Australian Built Environment Rating System, Australian Government. Department of Industry and Science
- Nassif N. et. al., (2005), Optimization of hvac control system strategy using two-objective genetic algorithm, *HVAC&R Research*, **11**, 459-486.
- Ncube M. şi Riffat S., (2012), Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK – A preliminary study, *Building and Environment*, **53**, 26-33.
- Newsham G. B., Benjamin; Arsenault, Chantal; Thompson, Lexi; Veitch et. al., (2012), Do green buildings outperform conventional buildings? Indoor environment and energy performance in North American offices, *NRC Publications Archive*.
- Nicol F. şi Mc Cartney K., (2000), Smart Controls and Thermal Comfort Project (SCATs), final report.
- Olesen B. W., (2004), International standards for the indoor environment. Where are we and do they apply worldwide?, *Indoor Air*, **14**, 18-26.
- OMEGA®, (2015), *Thermocouple, R. T. D. Practical Temperature Measurements. Manual* OMEGA, In: <http://www.omega.com/temperature/z/zsection.asp> from 10.07.2015, Omega®(Eds.), Norwalk,
- OMEGA®. *OMEGA Introduction do Data Logging Devices*. 2015 [accesat 2015 22.06]; Disponibil la: <http://www.onsetcomp.com/what-is-a-data-logger>.
- ONSET Hobo Data Loggers. *What is data logger*. [accesat 2015 22.06]; Disponibil la: <http://www.onsetcomp.com/what-is-a-data-logger>.
- Pei Z. et. al., (2015), Comparative study on the indoor environment quality of green office buildings in China with a long-term field measurement and investigation, *Building and Environment*, **84**, 80-88.
- Pereira D. et. al., (2014), Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results, *Building and Environment*, **81**, 69-80.
- Pérez L. et. al., (2011), A review of HVAC systems requirements in building energy regulations, *Energy and Buildings*, **43**, 255-268.
- Pisello A. L. et. al., (2012), A method for assessing buildings' energy efficiency by dynamic simulation and experimental activity, *Applied Energy*, **97**, 419-429.
- Quang T. et. al., (2014), Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings, *Energy and Buildings*, **85**, 225-234.
- Rohdin P. et. al., (2014), Experiences from nine passive houses in Sweden – Indoor thermal environment and energy use, *Building and Environment*, **71**, 176-185.
- Sarbu I. şi Sebarchievici C., (2013), Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings, *Energy and Buildings*, **60**, 410-419.
- Solomon D. et. al., (2011), Forecasting energy demand in large commercial buildings using support vector machine regression, *Department of Computer Science, Columbia University, Tech. Rep. CUCS-040-11*.
- SR EN ISO 13790, (2008), Performanţa energetică a clădirilor. Calculul necesarului de energie pentru încălzirea şi răcirea spaţiilor, Standard,
- Stafford T. M., (2015), Indoor air quality and academic performance, *Journal of Environmental Economics and Management*, **70**, 34-50.
- STAS 10009-88, (1988), Acustica în construcţii. Acustică urbană. Limite admisibile ale nivelului de zgomot. ,
- Stellman J. M., (1998), In: *Encyclopaedia of occupational health and safety*, International Labour Organization,

- Toderașc M. și Iordache V., (2016), Determining the Indoor Environment Quality for an Educational Building, *Energy Procedia*, **85**, 566-574.
- Toftum J., (2010), Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future, *Building and Environment*, **45**, 23-28.
- Tuominen P. et. al., (2014), Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock, *Building and Environment*, **75**, 153-160.
- U.S. Department of Energy, (2010), *Overview of building trends*, In: *Energy efficiency trends in residential and commercial buildings*, McGraw-Hill Construction,
- Varas-Muriel M. J. et. al., (2014), Fluctuations in the indoor environment in Spanish rural churches and their effects on heritage conservation: Hygro-thermal and CO2 conditions monitoring, *Building and Environment*, **82**, 97-109.
- Webster T. et. al., (2012), CBE Portable Wireless Monitoring System (PWMS): UFAD Systems Commissioning Cart Design Specifications and Operating Manual, *Center for the Built Environment. UC Berkeley*.
- White J. A. și Reichmuth R. Simplified method for predicting building energy consumption using average monthly temperatures. in *Energy Conversion Engineering Conference, 1996. IECEC 96., Proceedings of the 31st Intersociety*. 1996. IEEE.
- Wong S.-K. et. al., (2009), Sick building syndrome and perceived indoor environmental quality: A survey of apartment buildings in Hong Kong, *Habitat International*, **33**, 463-471.
- Wonnacott T. și Wonnacott R., (1990), *Correlation*, In: *Introductory statistics*, John Wiley & Sons, New York,
- Xia J. et. al., (2014), Comparison of building energy use data between the United States and China, *Energy and Buildings*, **78**, 165-175.
- Yalcintas M. și Akkurt S., (2005), Artificial neural networks applications in building energy predictions and a case study for tropical climates, *International Journal of Energy Research*, **29**, 891-901.
- Yang L. et. al., (2014), Thermal comfort and building energy consumption implications – A review, *Applied Energy*, **115**, 164-173.
- Yao R. și Steemers K., (2005), A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK, *Energy and Buildings*, **37**, 663-671.
- Zalejska-Jonsson A. și Wilhelmsson M., (2013), Impact of perceived indoor environment quality on overall satisfaction in Swedish dwellings, *Building and Environment*, **63**, 134-144.
- Zhao H.-x. și Magoulès F., (2012), A review on the prediction of building energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 3586-3592.
- Zhao L. et. al., (2013), Development of an energy monitoring system for large public buildings, *Energy and Buildings*, **66**, 41-48.
- Zhou Q. et. al., (2008), A grey-box model of next-day building thermal load prediction for energy-efficient control, *International Journal of Energy Research*, **32**, 1418-1431.