

Analysis of Thermal Comfort in Public Buildings: A Case Study

Analiza confortului termic în clădirile publice. Studiu de caz.

Natalia BEGLET¹, Elena NICOLAEV²

¹ Universitatea Tehnică a Moldovei
168 Ștefan cel Mare și Sfânt, Chișinău, Republica Moldova
E-mail: natalia.beglet@acagpm.utm.md

² Centrul de Excelență în Construcții
71 Gh. Asachi, Chișinău, Republica Moldova
E-mail: elenanycolaev@gmail.com

DOI: 10.37789/rjce.2025.16.4.2

Abstract. *This paper presents study of thermal comfort calculations in public buildings, using Fanger's method and ASHRAE standards. The influence of six main parameters – air temperature, radiant temperature, air velocity, relative humidity, metabolic rate, and clothing insulation – on human comfort sensation is analyzed. Results show that Fanger's method provides a more accurate evaluation of parameter interaction, while ASHRAE offers simplified comfort ranges for practical design. The comfort zone for the analyzed cases ranges between 18–24 °C, depending on specific indoor conditions.*

Key words: *thermal comfort, public buildings, Fanger's method, ASHRAE, microclimate, clothing insulation.*

Rezumat. *Lucrarea prezintă studiul condițiilor de confort termic în spații publice, utilizând metoda Fanger și datele standardului ASHRAE. Se analizează influența principalilor parametri microclimatici – temperatura aerului, temperatura radiantă, viteza aerului, umiditatea relativă, nivelul de activitate și rezistența termică a îmbrăcămintei – asupra senzației de confort. Rezultatele arată că metoda Fanger permite o evaluare mai exactă a interacțiunii factorilor, în timp ce standardul ASHRAE oferă valori orientative rapide. Intervalul de confort termic pentru spațiile analizate este cuprins între 18–24 °C, în funcție de condițiile specifice.*

Cuvinte cheie: *confort termic, clădiri publice, metoda Fanger, ASHRAE, microclimat, îmbrăcămintă.*

1. Introducere

Problematica asigurării confortului termic în clădirile publice este esențială pentru proiectarea și exploatarea sistemelor de climatizare, întrucât condițiile interioare adecvate contribuie direct la bunăstarea utilizatorilor, la performanța activităților desfășurate și la reducerea consumului de energie. Confortul termic reprezintă starea de satisfacție a ocupanților față de mediul ambiant și depinde de interacțiunea complexă dintre parametri fizici ai aerului interior și caracteristicile fiziologice ale persoanelor.

Factorii microclimatici – temperatura aerului, temperatura medie radiantă, umiditatea relativă, viteza aerului, activitatea metabolică și rezistența termică a îmbrăcămintei – influențează atât percepția subiectivă a confortului, cât și procesele biologice ale organismului. Abaterile de la intervalele optime pot provoca disconfort, scăderea capacității de concentrare, oboseală, dar și probleme de sănătate, cum ar fi afecțiuni respiratorii sau cardiovasculare. În același timp, menținerea parametrilor microclimatici în limitele recomandate permite o exploatare mai eficientă a instalațiilor de încălzire, ventilație și aer condiționat, reducând pierderile de energie și costurile operaționale.

Metodele consacrate de evaluare a confortului termic includ metoda **Fanger**, care se bazează pe calculul indicelui PMV (Predicted Mean Vote) și PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Această metodă analizează simultan cei șase parametri relevanți – temperatura aerului, temperatura medie radiantă, umiditatea relativă, viteza aerului, activitatea metabolică și rezistența termică a îmbrăcămintei – pentru a estima nivelul de satisfacție termică a ocupanților. Pe de altă parte, standardele **ASHRAE** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) stabilesc zonele de confort acceptabile, oferind valori orientative și intervale de referință pentru diferite condiții de utilizare, tipuri de activități și perioade ale anului.

În practica proiectării și exploatarei clădirilor publice, aplicarea acestor metode permite nu doar asigurarea unui climat interior sănătos și plăcut, ci și fundamentarea unor strategii eficiente de management energetic. Integrarea evaluării confortului termic cu tehnologii moderne de monitorizare și control – cum ar fi senzori inteligenți, sisteme BMS (Building Management System) și soluții de automatizare – facilitează reglarea dinamică a parametrilor microclimatici, contribuind la creșterea sustenabilității clădirilor și la respectarea normelor de eficiență energetică impuse de legislația națională și europeană.

2. Metodologie

Analiza celor trei studii de caz, corespunzătoare unor încăperi administrative și spații de proiectare, a urmărit evaluarea detaliată a condițiilor microclimatice și a impactului acestora asupra confortului termic al ocupanților. Alegerea acestor tipuri de spații nu este întâmplătoare, deoarece ele se caracterizează prin perioade lungi de utilizare, densitate variabilă a ocupanților și activități preponderent sedentare, ceea ce le face deosebit de sensibile la fluctuațiile parametrilor de mediu.

Parametrii considerați în evaluare – **temperatura aerului (t_a)**, **temperatura medie radiantă (t_r)**, **viteza aerului (u)**, **umiditatea relativă**, **nivelul activității metabolice (M)** și **rezistența termică a îmbrăcăminte (clo)** – reprezintă factorii cheie ai echilibrului termic dintre corpul uman și mediul ambiant. Temperatura aerului și temperatura medie radiantă determină schimbul de căldură prin convecție și radiație, viteza aerului influențează procesele de evaporare și senzația de prospețime, iar umiditatea relativă afectează atât evaporarea transpirației, cât și percepția generală a confortului. Activitatea metabolică (M), exprimată în met (unitate metabolică), reflectă cantitatea de căldură generată de organism în funcție de tipul de activitate (în cazul analizat, activități sedentare de birou, cu valori cuprinse de obicei între 1,0 și 1,2 met), iar rezistența termică a îmbrăcăminte (clo) depinde de tipul vestimentației și de stratificarea acesteia, fiind un factor crucial pentru menținerea echilibrului termic individual.

Pentru a determina gradul de confort, a fost aplicată **metoda Fanger**, recunoscută la nivel internațional pentru acuratețea sa în evaluarea percepției termice. Această metodă se bazează pe ecuațiile de bilanț energetic ale corpului uman, calculând **indicele PMV (Predicted Mean Vote)** – care indică votul termic mediu al unui grup de persoane pe o scară de la -3 (foarte rece) la +3 (foarte cald) – și **indicele PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)** – care estimează procentul de ocupanți ce ar putea fi nemulțumiți de condițiile existente, chiar și atunci când PMV se află în zona neutră. Valori ale PMV cuprinse între -0,5 și +0,5, corespunzătoare unui PPD mai mic de 10%, sunt considerate optime pentru confortul termic, conform standardelor internaționale.

Rezultatele obținute prin metoda Fanger au fost comparate cu **standardele ASHRAE 55**, care stabilesc limitele parametrilor de microclimat pentru zonele de confort acceptabile, ținând cont de activități specifice, tipul îmbrăcăminte și condițiile climatice sezoniere. Această comparație a permis verificarea gradului de conformitate al fiecărei încăperi cu valorile recomandate, evidențiind eventualele abateri și indicând măsuri corective. De exemplu, în situațiile în care viteza aerului s-a dovedit prea scăzută, se poate recomanda îmbunătățirea ventilației pentru a evita senzația de aer stagnant, iar în cazurile cu umiditate relativă scăzută, se pot propune soluții de umidificare controlată pentru prevenirea disconfortului respirator și a uscării mucoaselor.

În plus, analiza a relevat că, pentru spațiile administrative și de proiectare, unde activitatea metabolică este redusă și ocupanții petrec multe ore consecutiv, chiar mici deviații ale temperaturii sau umidității pot conduce la scăderea productivității, apariția oboselii și diminuarea capacității de concentrare. Astfel, asigurarea unui microclimat stabil și plăcut nu reprezintă doar o condiție de confort, ci și o necesitate pentru menținerea sănătății și eficienței angajaților.

Integrarea acestor rezultate în strategiile de management al clădirilor permite adoptarea unor soluții inteligente, cum ar fi implementarea sistemelor **BMS (Building Management System)**, care monitorizează și reglează automat parametrii de climatizare în timp real. Corelarea dintre datele obținute prin metoda Fanger și recomandările ASHRAE oferă o bază solidă pentru optimizarea reglajelor instalațiilor

de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC), contribuind astfel la reducerea consumului de energie, la creșterea duratei de viață a echipamentelor și la îndeplinirea cerințelor actuale de eficiență energetică și sustenabilitate impuse de legislația națională și europeană.

În concluzie, aplicarea unei evaluări complexe a confortului termic, combinând metoda Fanger și standardele ASHRAE, reprezintă un instrument indispensabil pentru proiectarea și exploatarea responsabilă a clădirilor publice, asigurând atât bunăstarea ocupanților, cât și performanța energetică a spațiilor analizate.

3. Studiu de caz

Analiza celor trei exemple evidențiază modul în care combinația dintre parametrii microclimatici, tipul activității și caracteristicile vestimentare influențează percepția de confort termic și recomandările pentru climatizarea spațiilor interioare.

3.1. Bibliotecă

Biblioteca reprezintă un spațiu administrativ în care activitatea metabolică a ocupanților este foarte redusă (citit, lucrul la calculator, aranjarea documentelor), ceea ce determină o sensibilitate sporită la variațiile parametrilor microclimatici. Persoanele prezente petrec perioade îndelungate în același loc, iar confortul termic devine esențial atât pentru menținerea stării de bine, cât și pentru productivitatea activităților. În astfel de încăperi, echilibrul dintre temperatura aerului, umiditatea relativă și viteza de circulație a aerului are o importanță critică, mai ales în condițiile unei îmbrăcăminti ușoare.

Parametri măsurați și implicații:

- **Îmbrăcăminte: 0,6 clo** – Valoarea indică o vestimentație ușoară, tipică sezonului cald sau unui interior bine încălzit (de exemplu, cămașă subțire, pantaloni ușori). Rezistența termică redusă a îmbrăcăminteii limitează capacitatea corpului de a reține căldura, ceea ce înseamnă că orice scădere a temperaturii aerului sub intervalul optim poate fi percepută rapid ca senzație de frig.
- **Viteză aer: 0,1 m/s** – Este o valoare foarte scăzută, caracteristică unui spațiu static, cu ventilație slabă sau difuză. Deși lipsa curenților de aer reduce riscul de disconfort datorat „zugrăvirii” (curenți reci percepuți ca neplăcuți), ea limitează și posibilitatea organismului de a-și regla temperatura prin convecție. Astfel, ocupanții pot simți aerul mai „greu” și pot resimți mai puternic eventualele diferențe dintre temperatura aerului și cea a suprafețelor radiante (pereți, ferestre, mobilier).
- **Umiditate relativă: 60%** – Se află în zona optimă pentru confort, contribuind la menținerea unei senzații plăcute și prevenind uscarea mucoaselor respiratorii.

Totuși, dacă temperatura aerului scade, umiditatea poate accentua percepția de răcoare prin diminuarea pierderilor de căldură prin evaporare.

Rezultate și comparație cu standarde:

- **Metoda Fanger:** Calculul indicilor PMV și PPD a condus la **valori nerealiste pentru temperatura aerului**, un fenomen explicabil prin combinația de activitate metabolică foarte redusă și îmbrăcăminte subțire. În aceste condiții, ecuațiile de echilibru termic pot genera abateri, deoarece organismul uman reacționează mai sensibil la variațiile de temperatură radiantă decât la cele ale aerului propriu-zis.
- **Standard ASHRAE:** Zona de confort termic recomandată este cuprinsă între **23 și 24 °C**, fiind ideală pentru activități sedentare desfășurate cu o vestimentație ușoară. Menținerea temperaturii în acest interval permite ca valoarea PMV să se apropie de zero (neutralitate termică), iar PPD să rămână sub pragul de 10%, corespunzător unui procent mic de persoane nemulțumite.

Interpretare și implicații practice:

- La o **viteză de aer atât de scăzută**, corpul pierde căldură aproape exclusiv prin radiație și conducție, ceea ce face ca diferențele dintre temperatura aerului și temperatura suprafețelor interioare să aibă un efect direct asupra senzației de confort. De exemplu, dacă pereții sau ferestrele au o temperatură mai scăzută decât aerul interior, ocupanții pot percepe o senzație de frig chiar dacă termometrul indică valori în intervalul optim.
- **Stabilitatea climatică** devine crucială, deoarece variațiile bruște de temperatură sau umiditate pot fi percepute imediat și pot provoca disconfort. Sistemele de climatizare trebuie să mențină parametrii constanți, evitând oscilațiile frecvente.
- Întrucât activitatea metabolică este foarte redusă, **posibilitățile de autoreglare termică ale organismului sunt limitate**, ceea ce face ca și abateri minore (0,5–1 °C) să fie resimțite.

Recomandări pentru exploatare:

1. **Monitorizarea temperaturii radiante** – Utilizarea senzorilor pentru măsurarea temperaturii pereților și a suprafețelor vitrate, pentru a preveni disconfortul cauzat de radiații reci sau calde.
2. **Control precis al temperaturii aerului** – Menținerea valorilor între 23 și 24 °C, cu o toleranță maximă de $\pm 0,5$ °C, mai ales în sezonul rece.
3. **Ventilație discretă dar constantă** – Chiar dacă viteza aerului trebuie să rămână mică pentru a evita curenții, este necesară o ventilație minimă pentru asigurarea calității aerului și prevenirea stăgării.

4. **Echipamente de reglaj automat** – Implementarea unui sistem de management al clădirii (BMS) care să ajusteze în timp real parametrii microclimatici, în funcție de variațiile de ocupare și de condițiile exterioare.

Biblioteca, ca spațiu administrativ cu activitate redusă și îmbrăcăminte ușoară, impune o **mare precizie în reglarea climatului interior**. Intervalul de confort de 23–24 °C conform ASHRAE este adecvat, dar trebuie dublat de un control atent al temperaturii radiante și al umidității, pentru a evita disconfortul care poate apărea chiar și la abateri minime.

3.2. Birou

Biroul este un spațiu tipic pentru activități de tip sedentar (scriere, lucru la calculator, convorbiri telefonice), caracterizate printr-un nivel metabolic redus (aprox. 1,2 met). Spre deosebire de bibliotecă, unde vestimentația era ușoară, aici este analizată situația sezonului rece, cu **îmbrăcăminte groasă de 1,5 clo**, ceea ce influențează considerabil percepția de confort.

Parametri măsurați și implicații:

- **Îmbrăcăminte: 1,5 clo (iarna)** – Acest nivel corespunde unei vestimentații groase (sacou, pulover, cămașă, pantaloni groși, încălțăminte de iarnă). Rezistența termică ridicată a îmbrăcăminte reduce pierderile de căldură prin convecție și radiație, ceea ce permite ca ocupanții să se simtă confortabil și la temperaturi mai scăzute ale aerului ($\approx 18,5$ °C). Totuși, același factor poate genera **supraîncălzire** dacă temperatura aerului urcă peste 23,5 °C.
- **Viteză aer: 0,2 m/s** – O valoare corespunzătoare pentru spații de birouri. Este suficientă pentru a asigura un schimb minim de aer, prevenind senzația de aer stagnant, dar nu atât de mare încât să creeze curenți neplăcuți. Contribuie, astfel, la reglarea subtilă a pierderilor de căldură prin convecție.
- **Umiditate relativă: 50%** – În intervalul optim recomandat de ASHRAE (30–60%). Menține o bună calitate a aerului, prevenind uscarea mucoaselor și favorizând o senzație termică neutră.

Rezultate și comparație cu standarde:

- **Zona de confort ASHRAE (pentru 1,5 clo):** între 18,5–23,5 °C, cu limită superioară admisă de 25,5 °C.
- **Zona de confort pentru 1 clo:** se restrânge la 20,5–23,5 °C, ceea ce reflectă necesitatea ajustării temperaturii odată cu reducerea stratului de îmbrăcăminte.

Această variație evidențiază faptul că **îmbrăcăminte este un factor decisiv** pentru reglarea confortului în spațiile administrative. O temperatură care iarna poate fi

percepută ca neutră (ex. 19 °C cu îmbrăcăminte groasă) ar fi resimțită ca rece vara, când ocupanții poartă haine mai subțiri.

Interpretare și implicații practice:

- **Iarna:** Îmbrăcămintea groasă permite reducerea temperaturii de încălzire până la ~18,5 °C, ceea ce poate conduce la **economii de energie** semnificative în clădirile de birouri. Totuși, depășirea limitei superioare de 23,5 °C, mai ales în încăperi cu suprafețe vitrate mari și expunere la soare, poate provoca senzația de supraîncălzire.
- **Primăvara/vara:** Odată cu reducerea stratului de îmbrăcăminte (1 clo sau mai puțin), temperatura aerului trebuie ajustată în sus (20,5–23,5 °C), pentru a menține confortul și a preveni senzația de frig.
- **Rolul vitezei aerului:** Valoarea de 0,2 m/s este optimă pentru a evita stagnarea aerului și pentru a sprijini mecanismele naturale de termoreglare ale organismului, fără a provoca curenți percepuți ca neplăcuți.

Recomandări pentru exploatare:

1. **Reglarea temperaturii în funcție de sezon și vestimentație:**
 - Iarna: menținerea temperaturii în intervalul **19–22 °C**.
 - Vara/primăvara: ajustarea la **21–23 °C**, corelat cu vestimentația mai ușoară.
2. **Monitorizarea temperaturii radiante:** În spațiile cu suprafețe vitrate mari, diferențele dintre temperatura aerului și cea a pereților/ferestrelor pot genera disconfort.
3. **Control individual (unde este posibil):** Birourile dotate cu termostate locale sau sisteme de ventilație reglabile permit adaptarea mai precisă la preferințele ocupanților.
4. **Optimizarea consumului energetic:** Ajustarea setărilor HVAC în funcție de sezon și îmbrăcămintea estimată a ocupanților poate reduce semnificativ costurile energetice, fără a compromite confortul.

Biroul, ca spațiu administrativ utilizat pe termen lung, necesită un **management flexibil al microclimatului**. Îmbrăcămintea groasă (1,5 clo) permite reducerea temperaturii până la 18,5 °C, dar riscul de supraîncălzire crește rapid peste 23,5 °C. În perioadele calde, zona de confort se deplasează la 20,5–23,5 °C, subliniind necesitatea adaptării continue a parametrilor în funcție de sezon și vestimentație. Astfel, confortul termic poate fi menținut la nivel optim, în paralel cu reducerea consumului de energie.

3.3. Spațiu de proiectare

Spațiul de proiectare este destinat activităților intelectuale cu un nivel metabolic ușor superior celui de birou clasic ($\approx 116 \text{ W/m}^2$), datorită mobilității mai mari și manipulării frecvente a documentelor sau echipamentelor. Condițiile analizate corespund unui sezon cald, când vestimentația este redusă la **0,5 clo**, ceea ce influențează semnificativ percepția de confort.

Parametri mășurați și implicații:

- **Îmbrăcăminte: 0,5 clo (vară)** – Corespunde unei vestimentații foarte ușoare (tricou subțire, pantaloni lejeri, încălțăminte ușoară). Rezistența termică redusă favorizează pierderea rapidă de căldură, dar face ocupanții mult mai sensibili la temperaturi scăzute și la curenții de aer. Zona de confort se restrânge în jurul temperaturii de **21,5 °C**, cu un interval acceptabil relativ îngust.
- **Viteză aer: 0,5 m/s** – Valoare peste media pentru spațiile administrative. Asigură un schimb bun de aer și o senzație de prospețime, însă la temperaturi mai joase poate genera **senzația de disconfort prin curenți**. În condițiile analizate, viteza ridicată contribuie la intensificarea pierderilor de căldură prin convecție.
- **Umiditate relativă: 80%** – Semnificativ peste intervalul optim recomandat (30–60%). La acest nivel, organismul întâmpină dificultăți în procesul de evaporare a transpirației, ceea ce reduce eficiența mecanismului natural de termoreglare. Senzația termică resimțită este mai grea și mai puțin plăcută, chiar dacă temperatura aerului se menține în zona neutră.

Rezultate și comparație cu standarde:

- **Zona de confort estimată (pentru 0,5 clo, 0,5 m/s și umiditate 80%): $\approx 21\text{--}22 \text{ °C}$.**
- **Efectul radiației solare:** expunerea la câștiguri solare suplimentare permite reducerea temperaturii aerului cu **0,5–1 °C**, menținând senzația neutră de confort.
- **Raport cu ASHRAE:** standardele indică zone mai largi de confort pentru valori normale ale umidității (până la 60%), însă aici umiditatea ridicată și viteza aerului restrâng considerabil intervalul acceptabil.

Interpretare și implicații practice:

- **Influența vitezei aerului:** La 0,5 m/s, ocupanții percep o intensificare a senzației de răcoare. În condiții de vară, acest efect este pozitiv, dar necesită atenție pentru a evita disconfortul atunci când temperatura scade sub 21 °C.
- **Impactul umidității ridicate:** Menținerea RH la 80% creează un microclimat greu de tolerat pe termen lung. Evaporarea transpirației este diminuată, iar

ocupanții pot resimți oboseală sau disconfort termic chiar și la temperaturi moderate.

- **Rolul radiației solare și al echipamentelor tehnice:** Prezența calculatoarelor, iluminării intense și a altor surse de căldură crește sarcina termică internă, ceea ce justifică scăderea temperaturii optime de aer sub nivelul utilizat în spațiile administrative.

Recomandări pentru exploatare:

1. Reglarea temperaturii:

- Interval optim: **21–22 °C**, cu posibilitatea reducerii la **20,5–21 °C** în prezența radiației solare sau a sarcinii interne crescute.
- 2. **Controlul vitezei aerului:** Menținerea la max. 0,5 m/s; la temperaturi mai scăzute, reducerea vitezei pentru a preveni senzația de curent rece.
- 3. **Umiditatea relativă:** Scăderea valorii spre 60% este esențială pentru creșterea confortului și prevenirea problemelor de sănătate (mucegai, aer greu respirabil).
- 4. **Managementul sarcinii interne:** Utilizarea corpurilor de iluminat eficiente și a echipamentelor cu consum redus de energie pentru a limita aporturile termice nedorite.

Spațiul de proiectare, caracterizat prin vestimentație foarte ușoară (0,5 clo), viteză a aerului relativ ridicată (0,5 m/s) și umiditate mare (80%), are o zonă de confort restrânsă, centrată pe 21–22 °C. Radiația solară și echipamentele tehnice pot justifica reducerea suplimentară a temperaturii aerului pentru a evita supraîncălzirea percepută. Gestionarea atentă a umidității și a vitezei aerului este decisivă pentru menținerea unui microclimat adecvat și pentru prevenirea disconfortului.

4. Analiză comparativă a spațiilor administrative și de proiectare

4.1. Parametrii de intrare

Tabelul 1

Analiza comparativă a parametrilor de confort termic în diferite spații interioare

Parametru	Exemplul 1 – Bibliotecă	Exemplul 2 – Birou	Exemplul 3 – Spațiu de proiectare
Îmbrăcăminte (clo)	0,6 clo (ușoară)	1,5 clo (grea, iarna)	0,5 clo (foarte ușoară, vară)
Viteză aer (m/s)	0,1 (foarte scăzută)	0,2 (optimă, discretă)	0,5 (ridicată)
Umiditate relativă (%)	60% (optimă)	50% (optimă)	80% (excesivă)
Activitate	Foarte redusă (citit,	Redusă (≈1,2 met)	Ușor mai intensă (≈116

Parametru	Exemplul 1 – Bibliotecă	Exemplul 2 – Birou	Exemplul 3 – Spațiu de proiectare
metabolică	lucrat la PC)		W/m ²)
Interval confortabil (°C)	23–24 °C	18,5–23,5 °C (1,5 clo) / 20,5–23,5 °C (1 clo)	21–22 °C (restrâns)

4.2. Influența factorilor principali

- **Îmbrăcămintea:**

- Bibliotecă: îmbrăcămintea subțire (0,6 clo) → sensibilitate mare la scăderea temperaturii.
- Birou: îmbrăcămintea groasă (1,5 clo) → permite temperaturi mai joase (18,5 °C), dar crește riscul de supraîncălzire >23,5 °C.
- Spațiu de proiectare: vestimentație foarte ușoară (0,5 clo) → zona de confort foarte restrânsă, ocupanții devin vulnerabili la curenți și scăderi de temperatură.

- **Viteza aerului:**

- Bibliotecă: foarte scăzută (0,1 m/s) → confort stabil, dar aer stagnant.
- Birou: moderată (0,2 m/s) → echilibru între ventilație și evitarea curenților.
- Spațiu de proiectare: ridicată (0,5 m/s) → senzație de răcoare binevenită vara, dar poate genera disconfort sub 21 °C.

- **Umiditatea relativă:**

- Bibliotecă & Birou: optimă (50–60 %), condiții confortabile.
- Proiectare: excesivă (80 %) → transpirația nu se evaporă eficient, senzație de aer greu și disconfort.

4.3. Comparație cu standardele (ASHRAE & Fanger)

- **Bibliotecă:** Standardul ASHRAE confirmă zona îngustă de confort (23–24 °C). Fanger poate da abateri la valori scăzute din cauza metabolismului minim și îmbrăcămintei subțiri.
- **Birou:** Standardul ASHRAE evidențiază rolul vestimentației – zona se lărgeste/îngustează în funcție de clo. Posibilitatea de economii energetice prin setarea temperaturii mai jos iarna.

- **Proiectare:** Condițiile reale (RH=80 %) nu respectă recomandările ASHRAE. Zona de confort este mai restrânsă decât cea teoretică, iar viteza mare a aerului accentuează pierderile de căldură.

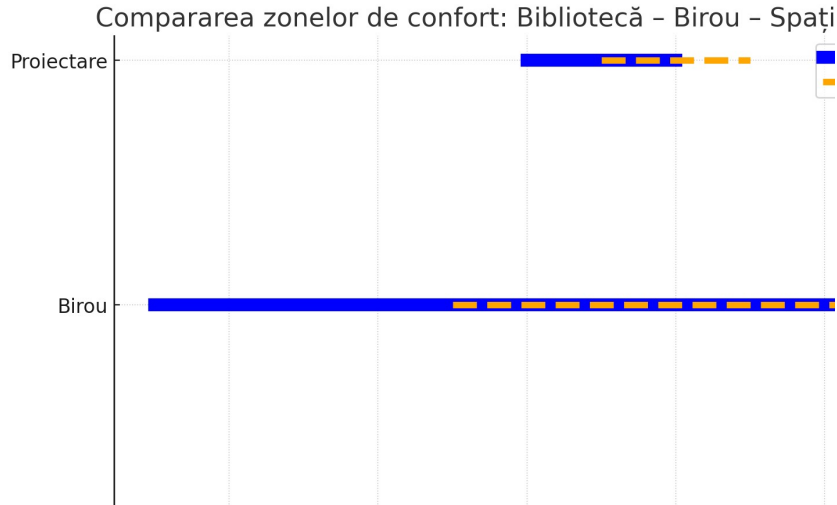


Fig. 1. Graficul comparativ al zonelor de confort

Din graficul comparativ al zonelor de confort pentru cele trei spații se observă cu **albastru** → intervalul de confort măsurat în fiecare spațiu, cu **portocaliu** → intervalul recomandat de ASHRAE pentru condiții standard.

Din grafic se observă că în bibliotecă: zona măsurată se aliniază bine cu ASHRAE, fiind foarte îngustă (23–24 °C), pentru birou: zona măsurată iarna (18,5–23,5 °C) este mai largă decât zona ASHRAE pentru 1 clo (20,5–23,5 °C), evidențiind flexibilitatea permisă de îmbrăcămintea groasă, pentru spațiu de proiectare: zona măsurată (21–22 °C) este restrânsă, apropiată de limitele ASHRAE, cu umiditate ridicată și viteză a aerului ce pot reduce confortul perceput. Graficul permite vizualizarea rapidă a diferențelor și evidențiază importanța **vestimentației, vitezei aerului și umidității** în reglarea confortului termic.

4.4. Implicații practice pentru exploatare

În bibliotecă, microclimatul este extrem de sensibil și trebuie menținut într-un interval foarte îngust, de aproximativ **23–24 °C**. Stabilitatea este esențială nu doar pentru confortul utilizatorilor, ci și pentru protejarea fondului de carte, care poate fi afectat de variații chiar și mici de temperatură și umiditate. Variațiile de temperatură sunt resimțite imediat de către vizitatori, dar în același timp pot accelera procesele de degradare a hârtiei și cernelurilor. Prin urmare, este necesar un **control strict al temperaturii radiante** (pereți, ferestre, tavane), precum și evitarea zonelor reci sau supraîncălzite care ar putea genera curenți de aer sau condens. O soluție eficientă o reprezintă utilizarea sistemelor de **climatizare radiantă** sau a suprafețelor termoactive, împreună cu un sistem precis de monitorizare și reglare automată.

În spațiile de birouri, intervalul de confort este mai larg, situat între **18,5–23,5 °C**, ceea ce oferă o anumită flexibilitate în exploatare. Factorul principal care permite această variație îl constituie **adaptabilitatea vestimentației** (îmbrăcăminte mai groasă iarna și mai lejeră vara). Totuși, aceste spații sunt expuse riscului de **supraîncălzire**, în special datorită radiației solare directe și a sarcinilor interne provenite de la echipamentele IT și iluminat. Managementul temperaturii trebuie să fie **sezonier și adaptiv**, prin implementarea unor strategii precum:

- reducerea temperaturii setate iarna pentru economisirea energiei,
- controlul radiației solare prin **jaluzele exterioare, geamuri cu protecție solară sau pergole**,
- ventilare naturală controlată în perioadele intermediare.

Aceste măsuri permit menținerea confortului termic și, în același timp, reducerea costurilor de exploatare.

Zonele destinate activităților de proiectare sunt cele mai problematice din punct de vedere al confortului și sănătății ocupanților, deoarece necesită un interval foarte restrâns de **21–22 °C**. Confortul termic este puternic influențat de **umiditatea relativă ridicată** și de **viteza aerului**, care pot genera disconfort prin senzația de curenți reci sau de aer uscat. Din acest motiv, aceste spații impun un **control riguros al umidității**, menținându-se valorile în jur de 60% și evitând depășirea acestui prag. Totodată, este necesară **reglarea vitezei aerului** la nivelul zonelor ocupate pentru a preveni disconfortul local.

Un alt factor esențial îl constituie **sarcina internă de căldură** provenită de la echipamentele utilizate (stații grafice, monitoare mari, servere locale). Pentru a limita creșterea temperaturii și a reduce consumul de energie al sistemelor de climatizare, este recomandată utilizarea de **echipamente și surse de iluminat cu randament ridicat și emisii reduse de căldură** (LED, aparatură cu consum redus). În plus, proiectarea acestor spații ar trebui să ia în calcul **sisteme avansate de ventilare cu recuperarea căldurii**, care asigură atât calitatea aerului, cât și un microclimat stabil.

Tabelul 2

Sinteza parametrilor de confort și a soluțiilor de optimizare pentru diferite tipuri de spații

Spațiu	Interval de temperatură (°C)	Sensibilitate la variații	Factori critici	Soluții recomandate
Biblioteca	23–24	Foarte mare	Stabilitate termică, radianță	Climatizare radiantă, control automatizat
Birou	18,5–23,5	Medie	Radiație solară, sarcini interne	Jaluzele exterioare, ventilație naturală, management sezonier
Spațiu de proiectare	21–22	Mare	Umiditate, curenți de aer, sarcini interne	Control umiditate, echipamente eficiente, ventilare cu recuperare

5. Concluzii și recomandări finale

Analiza condițiilor de microclimat pentru diferite tipuri de spații (bibliotecă, birou, spațiu de proiectare) a evidențiat importanța diferențierii strategiilor de control climatic în funcție de destinația încăperilor.

Astfel, bibliotecile necesită un microclimat extrem de stabil, cu interval foarte restrâns al temperaturii (23–24 °C), pentru protecția fondului de carte și confortul utilizatorilor. Birourile dispun de o zonă de confort mai largă (18,5–23,5 °C), ceea ce permite flexibilitate și posibilități de economisire a energiei, dar cu riscul supraîncălzirii. În schimb, spațiile de proiectare sunt cele mai problematice, datorită sensibilității la umiditate și curenți de aer, necesitând un interval strict (21–22 °C) și un control atent al umidității și sarcinii interne.

Rezultatele confirmă faptul că **stabilitatea parametrilor de microclimat este esențială** pentru confortul termic, sănătatea ocupanților și eficiența energetică. Mai mult, se dovedește că **tehnologiile moderne și soluțiile pasive** pot contribui semnificativ la reducerea consumului de energie și la menținerea condițiilor optime.

În acest sens, se recomandă:

- implementarea unui **sistem integrat de monitorizare și control (BMS)** pentru reglarea în timp real a temperaturii, umidității și vitezei aerului;
- aplicarea unor **strategii diferențiate de climatizare** în funcție de tipul spațiului: climatizare radiantă în bibliotecă, control flexibil și sezonă în birouri, control riguros al umidității și echipamente eficiente în spațiile de proiectare;
- utilizarea soluțiilor **pasive de reducere a sarcinii termice** (jaluzele exterioare, geamuri cu protecție solară, ventilație naturală controlată);
- optimizarea consumului energetic prin **adaptarea vestimentației utilizatorilor** și informarea acestora asupra rolului său în menținerea confortului;
- adoptarea **ventilației adaptive și a recuperării de energie** pentru reducerea pierderilor și menținerea calității aerului interior;
- corelarea permanentă a datelor obținute prin metode validate (ex. Fanger PMV/PPD) cu standardele internaționale (ASHRAE, EN, ISO), pentru fundamentarea deciziilor și asigurarea durabilității în exploatarea clădirilor.

În concluzie, **integrarea măsurilor de control climatic cu soluțiile de eficiență energetică și standardele internaționale reprezintă cheia realizării unui echilibru optim între confortul ocupanților, conservarea resurselor și performanța energetică a clădirilor publice.**

Referințe

- [1] Fanger, P.O. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill, 1970.
- [2] ASHRAE Standard 55-2021. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.
- [3] 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. Geneva: International Organization for Standardization, 2005.

- [4] Begleț, Natalia; Colomieț, Tatiana. *Termotehnica construcțiilor: Îndrumar aplicativ pentru orele practice*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2024. 78 p. ISBN 978-9975-64-382-5.
- [5] Begleț, N.; Nicolaev, E.; Haiducova, M.; Leanca, L., *Evoluția cerințelor de performanță energetică a clădirilor în Republica Moldova: analiză comparativă și aplicații practice*. În: Conferințele „Energie, Eficiență, Ecologie și Educație” (ediția a VIII-a) și „Instalații pentru construcții și economia de energie” (ediția a XXXV-a), 11–12 iulie 2025, Iași. ISSN 2069-1211.
- [6] Haiducova, M.; Șapovalov, N.; Begleț, N.; *Contribuția reabilitării termice la dezvoltarea durabilă a instituțiilor preșcolare*, În: Conferințele „Energie, Eficiență, Ecologie și Educație” (ediția a VIII-a) și „Instalații pentru construcții și economia de energie” (ediția a XXXV-a), 11–12 iulie 2025, Iași. ISSN 2069-1211.
- [7] Begleț, N.; Nicolaev, E.; M.; Leanca, L., *Evaluarea eficienței energetice în instituțiile de învățământ din Republica Moldova: Studiu de caz pe baza rapoartelor de audit energetic elaborate în cadrul proiectului GIZ*, În: Conferințele „Energie, Eficiență, Ecologie și Educație” (ediția a VIII-a) și „Instalații pentru construcții și economia de energie” (ediția a XXXV-a), 11–12 iulie 2025, Iași. ISSN 2069-1211.
- [8] Olesen, B.W. “International Standards for the Indoor Environment.” *Indoor Air*, vol. 12, no. 4, 2002, pp. 18–26.
- [9] Frontczak, M., Wargocki, P. “Literature Survey on How Different Factors Influence Human Comfort in Indoor Environments.” *Building and Environment*, vol. 46, no. 4, 2011, pp. 922–937.
- [10] Parsons, K. *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*. 3rd ed., London: CRC Press, 2014.
- [11] EN 16798-1:2019. *Energy Performance of Buildings – Ventilation for Buildings – Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings*. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2019.
- [12] Al horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., Elsarrag, E. “Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-being and Comfort: A Review of the Literature.” *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, no. 1, 2016, pp. 1–11.
- [13] Nikolopoulou, M., Steemers, K. “Thermal Comfort and Psychological Adaptation as a Design Strategy for Outdoor Spaces.” *Building and Environment*, vol. 38, no. 1, 2003, pp. 381–393.
- [14] Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., Pagliano, L. “A Review of Indices for Assessing Visual, Thermal, Acoustic, and Indoor Air Quality Comfort in Built Environments.” *Building and Environment*, vol. 86, 2015, pp. 190–201.