

STUDIU PRIVIND RANDAMENTUL ACTIVITĂȚILOR DIDACTICE ÎN FUNCȚIE DE CLIMATUL AMBIENTAL

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "POLITEHNICA" din Timișoara
în domeniul INGINERIE CIVILĂ
de către

ing. Cristian PĂCURAR

Conducător științific: prof. univ. dr. ing. Adrian RETEZAN
Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. Gheorghe BADEA
prof. univ. dr. ing. Theodor MATEESCU
conf. univ. dr. ing. Olga BANCEA

Ziua susținerii tezei: 28. 02. 2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Construcții Civile și Instalații al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Tema prezentei teze de doctorat constă în analiza principalilor parametri de confort termic (temperatura aerului, umiditatea relativă, viteza aerului și conținutul de dioxid de carbon) și estimarea randamentului activității studenților utilizând funcții Gauss și lineare.

În prima parte a lucrării se prezintă aspecte generale asupra confortului ambiental, urmat de o serie de măsurători și chestionare pentru a determina gradul de confort termic în sălile de curs și seminar din cadrul Facultății de Construcții din Timișoara, iar în final se propune un model de estimare al influenței parametrilor măsurați asupra randamentului activității studenților.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof. dr. ing. Adrian Retezan, pentru sprijinul și coordonarea științifică acordate pe întreaga durată a elaborării tezei.

Îmi exprim recunoștința domnului prof. dr. ing. Gheorghe Badea, domnului prof.dr.ing. Theodor Mateescu și doamnei conf. dr. ing. Olga Bancea pentru sprijinul acordat și pentru onoarea de care mă bucur de a fi membrii comisiei de susținere.

Mulțumirile mele se îndreaptă în egală măsură și către colectivul de la Departamentul de Construcții Civile și Instalații, pentru disponibilitatea și sugestiile utile pe care mi le-a oferit în toți acești ani.

Doresc de asemenea să mulțumesc domnului ș. l. dr. ing. Cosmin Cernăzanu pentru colaborarea și ajutorul acordat în diverse faze ale tezei de doctorat.

Nu în ultimul rând aș dori să mulțumesc familiei mele, colegilor și prietenilor care au stat alături de mine în toți acești ani.

Timișoara, februarie 2013

Cristian PĂCURAR

Păcurar, Cristian

Studiu privind randamentul activităților didactice în funcție de climatul ambiental

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 103, Editura Politehnica, 2013, 152 pagini, 71 figuri, 26 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-606-554-637-0

Cuvinte cheie: confort ambiental, indici PMV, PPD, estimarea randamentului

Rezumat,

Teza de doctorat este structurată în jurul a patru idei principale:

- Confortul ambiental;
- Măsurători în situ privind confortul în școli;
- Simularea gradului de confort într-o încăpere;
- Efectul unor parametri de confort (temperatura aerului, umiditatea relativă și conținutul de CO₂ din interiorul unei săli de clase) asupra randamentului activității didactice în școli.

Scopul acestei teze pe baza acestor idei principale a fost de a stabili o estimare a randamentului activității didactice a studenților utilizând o serie de măsurători a principalilor parametri ce intră în calculul ecuației de bilanț termic, utilizând funcțiile liniare și Gaussiene.

CUPRINS

CUPRINS	5
Simboluri și abrevieri.....	8
Lista de tabele.....	12
Lista de figuri.....	13
1. PREMISE ȘI CONSIDERAȚII INIȚIALE	16
1.1 Generalități.....	16
1.2 Necesitatea și oportunitatea studiului.....	18
1.3 Scurtă prezentare a conținutului tezei	20
2. ASPECTE PRIVIND CONFORTUL AMBIENTAL.....	22
2.1. Definirea confortului ambiental.....	22
2.1.1 Calitatea aerului interior	23
2.1.2 Zgomotul	27
2.1.3 Iluminatul	28
2.2. Parametrii principali care influențează confortul termic.....	29
2.2.1 Temperatura aerului din interior.....	29
2.2.2 Temperatura medie de radiație	32
2.2.3 Umiditatea relativă a aerului.....	35
2.2.4 Viteza aerului.....	36
2.2.5 Metabolismul	37
2.2.6 Izolația termică a îmbrăcăminții	40
2.3 Bilanțul termic al corpului uman	41
2.3.1. Procese de schimb de căldură ale corpului	42
2.3.1.1. Modelul celor două noduri.....	42
2.3.1.2. Modelul Fanger – ecuația bilanțului termic (de confort).....	46
2.4. Estimarea confortului termic – Indicii PMV și PPD	50
2.5. Parametri derivați ai confortului termic.....	53
2.5.1 Temperatura efectivă (ET*).....	54
2.5.2 Temperatura operativă umedă (t_{oh})	56
2.5.3 Indicele de stres termic (WBGT).....	57
2.5.4 Temperatura rezultantă (t_R)	57
2.5.5 Temperatura echivalentă (t_{echiv})	59
2.5.6 Indicele de confort termic (B).....	60
2.5.7 Indicele UCRES	61
2.6. Cauze ale disconfortului termic local.....	62
2.6.1 Curentul de aer – disconfort local.....	63
2.6.2 Diferența de temperatură pe verticală	63
2.6.3 Pardoseală rece sau caldă	64
2.6.4 Asimetria temperaturii radiante.....	65
2.7. Exemple de indici de confort meteorologici și climatici	67
2.8. Concluzii parțiale	69
3. MĂSURAREA PRINCIPALILOR PARAMETRI DE CONFORT TERMIC.....	70
3.1 Metodele de măsurare a principalilor parametri care influențează confortul termic.....	70
3.1.1 Măsurarea temperaturii aerului	70

6 Cuprins

3.1.2	Determinarea temperaturii de radiație medie.....	71
3.1.3	Determinarea temperaturii de radiație plană	73
3.1.4	Măsurarea umidității relative a aerului.....	74
3.1.5	Măsurarea vitezei aerului	75
3.1.6	Determinarea conținutului de CO ₂	75
3.2	Confortul ambiental în școli	77
3.2.1	Sinteză a cercetărilor privind confortul termic la ambele genuri	77
3.2.2	Sinteză a cercetărilor privind influența sistemelor de ventilare asupra sănătății în școli	82
3.2.3	Determinarea confortului termic prin măsurători obiective și subiective..	84
3.2.3.1	Date generale privind locația și modul de calcul	84
3.2.3.2	Rezultatele măsurătorilor efectuate.....	87
3.3	Concluzii parțiale	92
4.	SIMULAREA CONFORTULUI TERMIC UTILIZÂND PROGRAMUL DE CALCUL TRNSYS	94
4.1	Programe de simulare a eficienței energetice a clădirilor și confortului ambiental	94
4.2	Prezentarea programului de simulare TRNSYS.....	95
4.2.1	Noțiuni generale ale programului.....	95
4.2.2	Subrutine ale programului.....	96
4.2.3	Fluxul termic convectiv în nod.....	98
4.2.4	Fluxul termic radiant în nod.....	99
4.2.5	Transferul global de căldură	99
4.2.6	Fluxurile de căldură prin perete și fereastră.....	100
4.2.7	Schimburii de căldură convective prin infiltrații și ventilații	103
4.3	Studii de caz	103
4.3.1	Introducerea datelor în program	104
4.3.2	Studiu de caz A – pentru un număr de 50 persoane.....	107
4.3.3	Studiu de caz B – pentru un număr de 250 persoane.....	109
4.4	Concluzii parțiale	112
5.	RANDAMENTUL ACTIVITĂȚII DIDACTICE ÎN FUNCȚIE DE PARAMETRII DE CONFORT AMBIENTAL.....	113
5.1	Condițiile de lucru – Studiu de caz	113
5.2	Desfășurarea experimentului	116
5.2.1	Măsurători în situ ale parametrilor climatici	117
5.3	Propunere model de estimare a randamentului activității în școli	120
5.3.1	Corelația mărimilor	120
5.3.2	Model de estimare a randamentului în funcție de temperatură	122
5.3.2.1	Model de estimare construit cu rezultatele de la testeleK	122
5.3.2.2	Model de estimare construit cu rezultatele de la testeleP.....	125
5.3.3	Model de estimare a randamentului în funcție de umiditatea relativă ...	127
5.3.4	Model de estimare a randamentului activității în funcție de conținutul de CO ₂	129
5.3.5	Model general de estimare a eficienței.....	132
5.4	Concluzii parțiale	133
6.	CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE	135
6.1	Concluzii finale	135
6.2	Contribuții personale.....	137
6.3	Direcții de cercetare viitoare	138
	Bibliografie	139

Terminologie.....	147
Anexe.....	150
ANEXA A – Teste de atenție distributivă (Test P)	150
ANEXA B – Test de atenție concentrată (Test K).....	151
ANEXA C – Chestionare folosite pentru evaluare senzației subiective a confortului ambiental.....	152

Simboluri și abrevieri

A_i – reprezintă fiecare suprafață i (perete, corp de încălzire, fereastră etc.), [m^2]
 a_s, b_s, c_s, d_s - coeficienți care depind și ei de timp și care sunt determinați folosind funcția de transfer -z-
 A_s – suprafața interioară a suprafeței s , [m^2]
 C_i – calitatea aerului la interior
 CO_2 – concentrația de CO_2 în aerul interior, [ppm]
 CO_{2ext} – concentrația de CO_2 în aerul exterior, [ppm]
 $(CO_2)_0$ – concentrația de CO_2 din aerul interior, la momentul $t=0$, [ppm]
 $(CO_2)_{max}$ – concentrația de CO_2 maxim admisă în aerul interior, [ppm]
 $(CO_2)_t$ – concentrația de CO_2 din aerul interior, la momentul „ t ” [ppm]
 c_p – căldura specifică a aerului, [kJ/kg·°C]
 D – rata de ventilare pulmonară, [kg/h];
 D_{sf} - diametrul sferei, [m]
 DR – indicele persoanelor deranjate de senzația de curent, [%]
 e – tensiunea vaporilor de apă, [mmHg]
 F_{pcl} – factor ce ține cont de eficiența penetrării vaporilor de pe piele prin îmbrăcăminte
 F_{PT} – este raportul între suprafața corpului acoperită de o peliculă de transpirație (S_{PT}) și suprafața corpului uman după relația lui DuBois (S_{DU})
 F_{cl} – factor de îmbrăcăminte
 f_{cl} – raportul între suprafața corpului îmbrăcat și suprafața corpului dezbrăcat
 G – greutatea corpului, [kg];
 H – înălțimea corpului, [m]
 h – coeficient de transfer termic convectiv și radiant, [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 h_c – coeficientul de transfer termic prin convecție, [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 h_r - coeficientul de transfer termic prin radiație, [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 h_e - coeficientul de transfer termic prin evaporare, [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 h_{cg} - coeficientul de transfer termic prin convecție la nivelul sferei, [$W/m^2 \cdot ^\circ C^4$]
 h_{int} – coeficient de schimb superficial global la interior [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 h_{ext} – coeficient de schimb superficial global la exterior [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 I_{cl} – rezistența termică medie pentru îmbrăcăminte [$m^2 \cdot ^\circ C / W$] sau [clo]
 i_m - indice de permeabilitate la vapori
 K - coeficientul global de transmisie a căldurii printr-un perete plan
 k - coeficient care se referă la timpul în care se realizează măsurătoarea
 M - metabolism, [W]
 M – rata căldurii metabolice, [W/m^2]
 M_m - partea mecanică a metabolismului, [W]
 M_t - partea pur termică a metabolismului, [W]
 m – permeabilitatea pielii, [kg/hm²mmHg]
 $m_{cplg,s}$ = debitul masic de aer care intră în zona „ i ” prin pereți sau ferestre, [kg/s]
 $m_{inf,i}$ = debitul masic de aer infiltrat, [kg/s]
 $m_{v,i}$ = debitul masic de aer ventilat, [kg/s]
 n_a – rata de ventilare, [s-1]
 N_{pers} – numărul de persoane
 P – productivitatea la valoare maximă, [%]
 P_a – presiunea parțială a vaporilor de apă, [mmHg], [kPa]
 P_b - puterea de încălzire primită de discul absorbant, [W/m^2]

PD – procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior, [%]
 PD_(CO2) – procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior folosind ca indicator concentrația de CO₂, [%]
 p_{ET*,s} - presiunea de saturație a vaporilor, la temperatura efectivă, [kPa]
 P_i – presiunea vaporilor din aerul interior, [mmHg], [kPa]
 P_p - puterea de încălzire primită de discul reflectant, [W/m²]
 PPD_m - valoarea medie a PPD
 P_s – presiunea de saturație a vaporilor de apă, [mmHg], [kPa]
 p_{s,oh} - presiunea de saturație a vaporilor la temperatura t_{oh}, [kPa]
 Q – rata schimbului de aer, [m³/s]
 Q_{g,p} - aporturi prin radiație primite de perete, [W]
 Q_{cd} – schimbul de căldură prin conducție, [W]
 Q_{cl} – schimb de căldură de la piele la suprafața îmbrăcăminții, [W]
 Q_{cre} – pierderea de căldură prin convecție respiratorie, [W]
 Q_{Cv} - schimbul de căldură prin convecție, [W]
 Q_{diff} – pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele, [W]
 Q_E – pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W]
 Q_{evp} – pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W]
 Q_H – căldură net produsă prin metabolism, [W]
 Q_{inf} - fluxul de căldură provenit din infiltrații de aer din exterior, [W]
 Q_{inv} - fluxul de căldură provenit de la zonele învecinate încăperii, [W]
 Q_M – căldură produsă prin metabolism, [W]
 Q_{O₂} – debit volumic de O₂ consumat la o temperatură de 0°C, și presiune atmosferică de 101,325 kPa, [m³/s]
 Q_{p-f} - schimburi de căldură radiative între pereți și ferestre, [W]
 Q_{pi} – căldura metabolică regăsită la nivelul pielii, [W]
 Q_{pres} - fluxul de căldură prestabilit pe perete sau fereastră, [W]
 Q_R - schimbul de căldură prin radiație, [W]
 Q_{r,p} - aporturi prin radiație în nodul(punctul) de pe perete, [W]
 Q_{rl} – pierderea de căldură latentă prin respirație, [W]
 Q_{sup,i} - fluxul de căldură provenit de la suprafețele interioare, [W]
 Q_{sol,f} - aporturi solare prin radiație prin ferestre, [W]
 Q_{surse} - aporturi de căldură de la oameni, echipamente, iluminat etc., [W]
 Q_{vent} - fluxul de căldură provenit de la debitul de aer introdus de un sistem de ventilare, [W]
 q – debitul de aer proaspăt, [l/s-pers]
 q_c - schimbul de căldură prin convecție între aer și sferă, [W/m²]
 q_{c,s,i} – Fluxul de căldură convectiv de la suprafața interioară la aerul interior
 q_{c,s,e} – Fluxul de căldură convectiv de la mediul exterior la suprafața exterioară
 q_{c,s,1 (2) (3)} - flux de căldură convectiv al suprafeței 1, 2 sau 3, [W/m²]
 q_{CO2} - debitul de CO₂ emis la interior, [m³/s]
 q_{CO2pers} - debitul de CO₂ emis la interior de o persoană, [m³/s]
 q_{inf,i} - flux de căldură introdus prin infiltrații, [W/m²]
 q_{inv,i} - flux de căldură de la zonele învecinate, [W/m²]
 q_r - schimbul de căldură prin radiație între pereții incintei și sferă, [W/m²]
 q_{r,s,1 (2) (3)} - flux de căldură radiant al suprafeței 1, 2 sau 3, [W/m²]
 q_{r,s,i} – Transferul de căldură net radiativ cu toate suprafețele interioare unei zone
 q_{r,s,e} – Transferul de căldură net radiativ cu toate suprafețele exterioare
 q_{s,e} – Fluxul de căldură conductiv de la suprafața exterioară la interiorul peretelui
 q_{s,i} – Fluxul de căldură conductiv de la interiorul peretelui la suprafața interioară
 q_{surse,i} - flux de căldură de la oameni, iluminat, echipamente etc., [W/m²]

10 Simboluri și abrevieri

$q_{vent,i}$ - flux de căldură introdus de un debit de aer prin ventilare, [W/m²]
RQ – coeficient respiratoriu
 $R_{e,1(2)(3)}$ - rezistența [°C/W]
 R_o - radiația asimetrică față de orizontală
 R_v - radiația asimetrică față de verticală
S - suprafața de schimb de căldură [m²]
 S_{Du} – suprafața corpului uman DuBois, [m²]
 S_{ef} - suprafața efectivă de schimb radiant a corpului, [m²]
 $S_{s,e}$ – Fluxul de căldură radiativ absorbit la suprafețele exterioare
 $S_{s,i}$ – Fluxul de căldură radiativ absorbit la suprafețele interioare
t – intervalul de timp de la t=0, [s]
 t_1, t_2 etc – timpul scurs în condițiile corespunzătoare descrise de WBGT₁, WBGT₂ etc.
 t_a - temperatura aerului sub încărcare termică solară, [°C]
 t_{cl} – temperatura la suprafața îmbrăcăminții, [°C]
 t_d - temperatura discului, [°C]
 t_e – temperatura aerului exterior, [°C]
 t_{echiv} – temperatura echivalentă, [°C], [°F]
 t_{ef} - temperatura efectivă, [°C]
 t_f – temperatura la nivelul pardoselii, [°C]
 t_i – temperatura aerului interior, [°C], [°F]
 t_o - temperatura operativă, [°C]
 t_{oh} – temperatura operativă umedă, [°C]
 t_p – temperatura la nivelul pielii, [°C]
 t_{pr} - temperatura de radiație plană, [°C]
 t_g - temperatura de globtermometru, [°C]
 t_R – temperatura rezultantă, [°C]
 t_r – temperatura medie radiantă, [°C]
 t_{rc} - temperatura rezultantă în centru încăperii, [°C]
 t_{ri} - temperatura rezultantă în punctul i, [°C]
 t_s - temperatura la nivelul pardoselei, [°C]
 $t_{s,1(2)(3)}$ - temperatura suprafeței 1, 2 sau 3, [°C]
 $t_{s,e}$ – temperatura suprafeței exterioare, [°C]
 $t_{s,i}$ – temperatura suprafeței interioare, [°C]
 T_u – intensitatea locală a turbulenței aerului cu valori cuprinse între 10-60 [%]
 t_{um} – temperatura termometru umed, [°C]
 t_{us} – temperatura termometru uscat, [°C]
 t_v – temperatura aerului introdus prin ventilare, [°C]
 t_{zonax} – temperatura aerului din zona x, [°C]
V – volumul spațiului interior, [m³]
 v_a – viteza aerului, [m/s]
 v_{ai} – viteza aerului interior la momentul „i” al perioadei de măsurare, [m/s]
 v_{am} – viteza medie a aerului (în raport cu corpul uman), [m/s]
 v_r – viteza relativă a aerului (în raport cu corpul uman) [Butera, 1998], [m/s]
W – lucrul mecanic exterior, [W/m²]
WBGT – indicele de stres termic, [°C]
 x_i – conținutul de umiditate în aerul din interior, [g/kg]
 ΔS – căldură înmagazinată, [W]
 Δt - diferența de temperatură, [°C]
 Δt_{ar} – asimetria temperaturii radiante, [°C]
 $\Delta t_{i,v}$ – diferența de temperatură pe verticală, [°C]
 Δt_{ro} - variația temperaturii pe orizontală, [°C]

Δt_{rv} - variația temperaturii pe verticală, [°C]
 Δv – abaterea standard a vitezei aerului interior
 δ – grosimea stratului de perete, [m]
 ε – emisivitatea de la suprafața exterioară a îmbrăcăminții, ($0 < \varepsilon < 1$)
 ε_a - emisivitatea discului absorbant
 ε_r - emisivitatea discului reflectant
 ε_g - emisivitatea globului negru (adimensională) ($\varepsilon_g=0.95$)
 φ - umiditatea relativă, [%]
 φ_{ex} – umiditatea aerului expirat de om, [g/kg]
 φ_{in} – umiditatea aerului inspirat de om, [g/kg]
 φ_p - umiditatea pielii, adimensional
 λ – conductivitatea termică a materialului [W/m·°C]
 λ_v - căldura latentă de vaporizare a apei, [kJ/kg]
 ρ_a – densitatea aerului, [kg/m³]
 σ - constanta Stefan-Boltzmann, [W/m²°C⁴]
 τ - temperatura punctului de rouă, [°C]
 ω - factor al umidității pielii

Lista de tabele

- Tabel 2.1. Categoriile de calitate a aerului interior
- Tabel 2.2. Categoriile de calitate a aerului interior în funcție de concentrația de CO₂ peste nivelul exterior
- Tabel 2.3. Debite de aer proaspăt pentru diluarea CO₂
- Tabel 2.4. Niveluri extreme și periculoase ale conținutului de CO₂
- Tabel 2.5. Valori normate ale parametrilor climatic interiori
- Tabel 2.6. Valoarea lui A în funcție de viteza relativă a aerului v_r
- Tabel 2.7. Valori recomandate pentru viteza aerului din încăperi
- Tabel 2.8. Fluxuri termice emise de o persoană în funcție de activitate
- Tabel 2.9. Valori ale rezistenței termice ale vestimentației clo m²·°C/W
- Tabel.2.10. Diferite relații de calcul a suprafeței corpului uman
- Tabel 2.11. Degajări de căldură și vapori de apă ale organismului uman (Umiditate relativă -50%)
- Tabel 2.12. Cele 7 puncte pe scara senzației termice ASHRAE 55
- Tabel 2.13. Aprecierea confortului termic pe baza indicelui B
- Tabel 2.14. Categoriile de ambianțe termice
- Tabel 3.1. Scurt istoric al studiilor de confort termic la ambele sexe
- Tabel 3.2. Centralizator al valorilor medii pentru PMV, PPD pentru perioada de vară respectiv iarnă
- Tabel 4.1. Programe pentru simularea eficienței energetice a clădirilor
- Tabel 5.1. Valorile medii ale parametrilor exteriori pe perioada măsurătorilor
- Tabel 5.2. Echipamente de măsură
- Tabel 5.3. Caracteristici subiecți
- Tabel 5.4. Centralizator al valorilor medii pentru PMV obiectiv respectiv subiectiv
- Tabel 5.5. Matricea coeficienților de corelație dintre cele 12 seturi experimentale
- Tabel 5.6. Exemplu de rezultate obținute la testul K de studenți
- Tabel 5.7. Exemplu de rezultate obținute la testul P de studenți
- Tabel 5.8. Mediile randamentului obținut de către studenți la fiecare test și valorile umidității relative înregistrate în timpul testelor
- Tabel 5.9. Mediile randamentului obținut de către studenți la fiecare test și valorile concentrației de CO₂ în timpul testelor

Lista de figuri

- Figura 1.1. Legături ipotetice între caracteristicile clădirii/condițiile din interior și performanța și atenția studenților
- Figura 1.2. Parametrii care definesc calitatea mediului interior
- Figura 1.3. Aliura curbei de variație a performanței umane în funcție de temperatura interioară
- Figura 1.4. Categoria plângerilor cronice
- Figura 2.1. Procentul de nemulțumiți în funcție de concentrația de CO₂ de la interior peste nivelul aerului exterior
- Figura 2.2. Zona de confort termică în funcție de temperatura ambientală
- Figura 2.3. Zona de confort termică în funcție de temperatura ambientală pentru vară, respectiv iarnă
- Figura 2.4. Variația ideală a temperaturii pe verticala incintei (a) și pentru diverse sisteme de încălzire: încălzirea cu aer cald (b); încălzirea cu sobe de teracotă (c); încălzirea centrală (d); încălzirea prin plafon (e); încălzirea prin pardoseală (f)
- Figura 2.5. Zona de confort în funcție de temperatura aerului și de temperatura medie de radiație
- Figura 2.6. Temperatura superficială interioară a elementelor anvelopei clădirii a) perete, b) fereastră
- Figura 2.7. Schimburile termice om-mediul în funcție de modul de încălzire
- Figura 2.8. Temperatura operativă în comparație cu valoarea maximă a temperaturii medii zilnice pentru o valoare PMV=0
- Figura 2.9. Viteza medie a aerului admisă în funcție de temperatura aerului și de intensitatea turbulenței
- Figura 2.10. Schimburi de căldură ale corpului uman
- Figura 2.11. Bilanțul energetic al corpului uman
- Figura 2.12. Reprezentare schematică a „Modelului celor două noduri”
- Figura 2.13. Procentul previzibil de nemulțumiți (PPD) în funcție de votul mediu previzibil (PMV)
- Figura 2.14. Diferite relații între PMV și PPD
- Figura 2.15. Temperatura efectivă (ET*) și umiditatea pielii (φ_p)
- Figura 2.16. Determinarea temperaturii rezultante în funcție de temperatură după termometrul umed, termometrul uscat și viteza aerului
- Figura 2.17. Disconfort local datorat diferenței de temperatură pe verticală
- Figura 2.18. Disconfort local datorat temperaturii pardoselii
- Figura 2.19. Disconfort local datorat asimetriei temperaturii radiante
- Figura 3.1. Amplasament clădire în zonă
- Figura 3.2. Poziția senzorilor a) în plan b) în secțiune
- Figura 3.3. Variația temperaturii la nivelul +1,10m a) în timpul verii și b) în timpul iernii
- Figura 3.4. Variația umidității relative la nivelul de 1,10 m a) în timpul verii și b) în timpul iernii
- Figura 3.5. Variația vitezei aerului a) în timpul verii și b) în timpul iernii
- Figura 3.6. Variația concentrației de CO₂ la nivelul de 0,10 m a) în timpul verii și b) în timpul iernii
- Figura 3.7. Centralizator al senzației termice a) vara b) iarna bazat pe chestionare

- Figura 3.8. Centralizator al calității aerului din interior a) vara și b) iarna bazat pe chestionare
- Figura 3.9. Variațiile temperaturii pe suprafața peretelui exterior atât la exterior cât și la interior
- Figura 4.1. Schimburi de aer interzonale
- Figura 4.2. Bilanțul termic al unui nod de temperatură corespunzător unei zone
- Figura 4.3. Fluxuri de căldură și temperaturi corespunzătoare suprafețelor interioare și exterioare la pereți
- Figura 4.4. Model de fereastră în 2 noduri folosită în componenta Type 56 pentru calculul bilanțului de căldură
- Figura 4.5. Rețeaua stea a unei zone cu trei suprafețe
- Figura 4.6. Definirea elementelor de anvelopa în TRNSYS 16, Type 56
- Figura. 4.7. Definirea profilului de ocupare al clădirii în TRNSYS 16, Type 56
- Figura 4.8. Definirea orarului profilului de ocupare al clădirii în TRNSYS 16, Type 56
- Figura 4.9. Definirea programului de funcționare al sistemului de iluminat în clădire în TRNSYS 16, Type 56
- Figura 4.10. Definirea parametrilor de confort
- Figura 4.11. Date generale ale clădirii
- Figura 4.12. Stabilirea degajărilor interne de căldură în TRNSYS 16, Type 56
- Figura 4.13. Modelul utilizat la simularea cu programul TRNSYS – Simulation Studio
- Figura 4.14. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 50 persoane
- Figura 4.15. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 50 persoane
- Figura 4.16. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 250 persoane
- Figura 4.17. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 250 persoane
- Figura 4.18. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 250 persoane și un debit de aer introdus de 3sch/h
- Figura 4.19. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 250 persoane
- Figura 4.20. Variația necesarului de energie pentru încălzire respectiv răcire
- Figura 5.1. Plan sală cu poziționare senzori
- Figura 5.2. Program măsurători
- Figura 5.3. Variația temperaturii aerului interior la nivelul +1.10 m față de pardoseală
- Figura 5.4. Variația umidității relative la nivelul +1.10 m față de pardoseală
- Figura 5.5. Variația vitezei aerului la nivelul +1.10 m față de pardoseală
- Figura 5.6. Variația concentrației de CO₂ la nivelul +0.10 m față de pardoseală
- Figura 5.7. Centralizator al senzației calității aerului bazat pe chestionare
- Figura 5.8. Rezultatele obținute de către toți studenții la „test K”
- Figura 5.9. Interpolare gauss pentru randamentul mediu la „test K”
- Figura 5.10. Rezultatele obținute de către toți studenții la „test P”
- Figura 5.11. Interpolare gauss pentru randamentul mediu la „test P”
- Figura 5.12. Randamentul activității la studenți în funcție de temperatură
- Figura 5.13. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă la „test K”

- Figura 5.14. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă la „test P”
- Figura 5.15. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă
- Figura 5.16. Randamentul activității la studenți în funcție de concentrația de CO₂ la „test K”
- Figura 5.17. Randamentul activității la studenți în funcție de concentrația de CO₂ la „test P”
- Figura 5.18. Estimarea randamentului în funcție de concentrația de CO₂
- Figura 5.19. Percepția studenților asupra modificărilor parametrilor climatici

1. PREMISE ȘI CONSIDERAȚII INIȚIALE

1.1 Generalități

Omul societății moderne își petrece cea mai mare parte a vieții sale în spațiile închise [U.S. Env, 2004], [Epstien, 1997]. Scopul principal al clădirilor este de a crea condiții termice confortabile pentru ocupanți cu consum de energie redus.

O mare parte a populației își petrece mai mult de 20 de ore pe zi într-un mediu artificial: la domiciliu, la locul de muncă, în magazine, în diverse locuri de recreere (restaurante, cafenele, teatre, cinematografe, galerii etc.). Acest lucru a condus la creșterea interesului privind studierea și înțelegerea influenței mediului ambiental interior asupra omului [Retezan, 2000]. Pe măsură ce s-au realizat mai multe cercetări în acest domeniu s-au îmbunătățit și standardele naționale și internaționale.

Aceste standarde se referă la calitatea aerului interior (puritate), temperatura aerului, temperatura medie radiantă, umiditatea relativă, viteza aerului, activitatea umană, îmbrăcămintea.

Cele mai multe standarde se bazează în principal pe modele matematice, dezvoltate de profesorul P.Ole Fanger pe baza unor studii de laborator [Fanger, 1970].

Principalele standarde ASHRAE, EN și ISO, utilizate în proiectarea instalațiilor privind confortul termic sunt: SR EN ISO 7730 (Ambianțe termice moderate. Determinarea analitică și interpretarea confortului termic prin calculul indicilor PMV și PPD și specificarea criteriilor de confort termic local); SR EN ISO 7993 (Medii calde – Determinarea și interpretarea analitică a stresului termic folosind rata de sudoare necesară); ASHRAE 55 (Condițiile termice ale spațiului ocupat); ASHRAE 62 (Instalații de ventilare privind calitatea acceptabilă a aerului din interior); ASHRAE 113 (Condițiile termice ale spațiului ocupat); CR 1752 (Instalații de ventilare în clădiri. Criterii de proiectare pentru realizarea confortului termic interior); SR EN ISO 7726 (Ergonomia ambianțelor termice. Aparat de măsurat mărimile fizice); SR EN ISO 8996 (Ergonomie. Determinarea producției de căldură metabolică); SR EN ISO 9920 (Ergonomia ambianțelor termice. Determinarea izolării termice și a rezistenței la evaporare a unui ansamblu vestimentar) etc.

O ambianță poate fi caracterizată din punct de vedere higrotermic prin temperatura aerului interior, temperatura suprafețelor delimitatoare și, pe de altă parte, prin umiditatea și viteza de mișcare a aerului.

Cercetări bazate pe experimentări pe grupuri mari de persoane, menținute în medii cu caracteristici diferite, au condus la concluzia că starea de confort termic poate fi realizată pentru diferite combinații de valori ale parametrilor microclimatici, în corelație cu natura activității și îmbrăcămintea.

Pentru încăperile din producție noțiunea de confort este înlocuită cu noțiunea de eficiență a muncii, corespunzătoare activității desfășurate [Hameed, 2009]. Condițiile de muncă trebuie să asigure desfășurarea muncii cu randament ridicat și

menținerea stării de sănătate [Fisk, 2000], [Kroner, 2000].

Există o îngrijorare larg răspândită că mediul interior poate afecta sănătatea ocupanților, confortul și performanța [Hannula, 2000].

Mediul interior în școli este de interes public special, deoarece [Alfano, 2010]:

1) școlile, în raport cu alte tipuri de clădiri, sunt considerate ca fiind deosebit de sensibile pentru a avea deficiențe de mediu care ar putea duce la slaba calitate a microclimatului interior. În special, lipsa finanțării în școli contribuie la exploatarea și întreținerea necorespunzătoare a instalațiilor [Doboși, 2004].

2) elevii respiră volume mai mari de aer în raport cu greutatea corpului lor și sunt activi și în creștere. Astfel, ei au o mai mare sensibilitate la poluanții din mediu decât adulții. Calitatea aerului interior din școli nu afectează doar sănătatea și confortul elevilor/studentilor, ci poate să afecteze randamentul lor intelectual și să aibă o influență asupra eficienței de învățare și atenție în timpul orelor de curs, cu repercusiuni asupra performanțelor și costurilor sociale [Retezan, 2001].

În figura 1.1 este prezentat un model simplu de către G.A Heat [Mendell, 2005] care redă o ipoteză a influenței calității mediului ambiental asupra performanțelor elevilor. Clădirea poate influența atât poluanții interni cât și parametrii fizici de interior. Factorii fizici interni pot influența expunerile la poluanții interni și rezultatele sănătății ocupanților. Starea de sănătate poate influența performanța în mod direct sau prin intermediul efectelor asupra ocupanților. Condițiile fizice din interior pot, de asemenea, influența direct performanța.

În consecință starea de confort este o caracteristică de foarte mare complexitate tehnică, ea putând fi influențată negativ de o multitudine de factori.

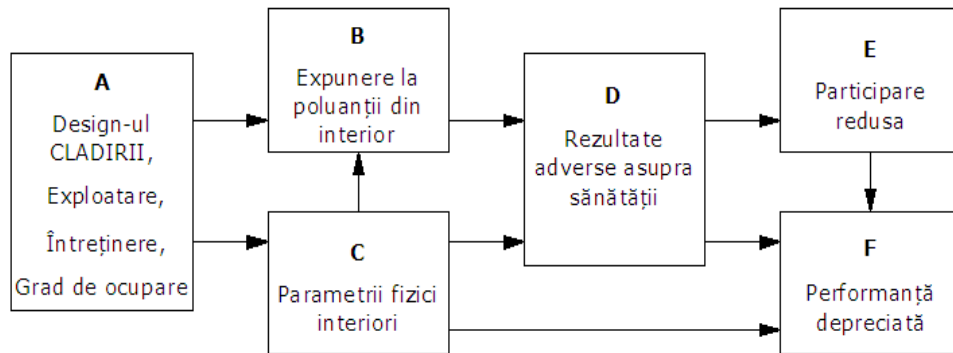


Figura 1.1. Legături ipotetice între caracteristicile clădirii/condițiile din interior și performanța și atenția studenților [Mendell, 2005]

Performanța individuală este afectată de mediul de lucru, abilitate și motivare personală. Mediul de lucru se referă la: climatul interior, accesul la anumite servicii și infrastructură, care separat și împreună în același timp afectează sănătatea [Hanssen, 1997]. În figura 1.2, sunt prezentați factorii care influențează calitatea mediului interior.

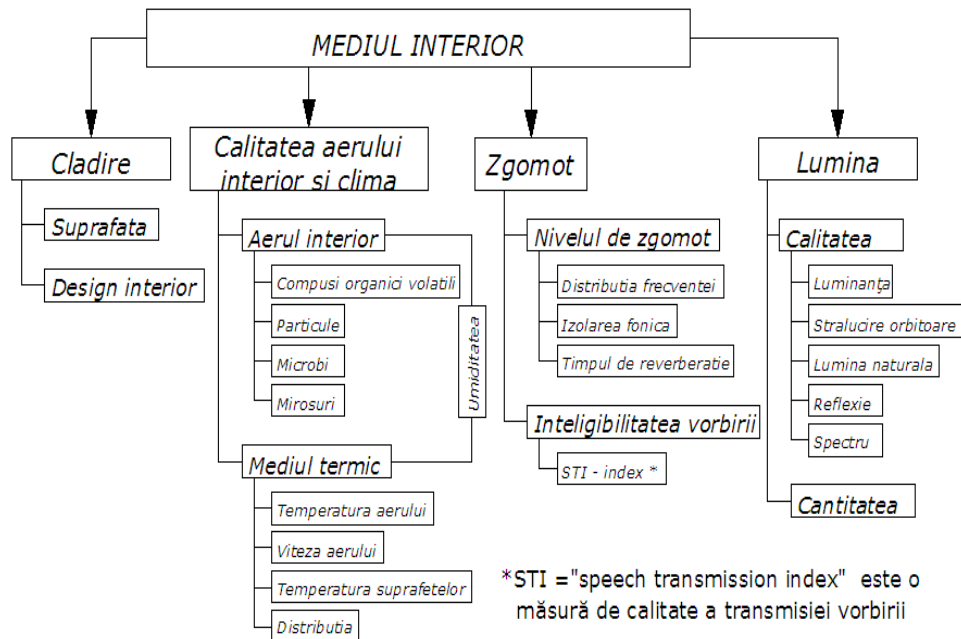


Figura 1.2. Parametrii care definesc calitatea mediului interior [Anderson, 2006]

Calitatea mediului ambiental este influențată de suprafața și designul interior al clădirii, de caracteristicile și mediul termic al aerului interior și de nivelul de zgomot și intensitatea luminii [Hanssen, 2002].

Un alt factor care influențează productivitatea oamenilor este sindromul SBS (Sick Building Syndrome - Sindromul Clădirilor Bolnave) [Lan, 2011]. Acest factor este definit de calitatea scăzută a aerului din interiorul unei clădiri care conduce la îmbolnăviri manifestate prin dureri de cap, oboseală, lipsă de concentrare, somnolență, iritații ale căilor respiratorii, mucoaselor nazale și ochilor. Se poate vorbi de sindromul SBS atunci când mai mult de 20-30% (după caz) din numărul persoanelor din încăperi acuză simptomele menționate mai sus. Majoritatea persoanelor care acuză aceste simptome susțin că stările de disconfort dispar din momentul în care părăsesc clădirea.

1.2 Necesitatea și oportunitatea studiului

Educația pentru generațiile viitoare este un subiect foarte important și dezbătut în ultimul timp din ce în ce mai des [Wargocki, 2006]. De aceea este necesară realizarea unor clădiri cu un grad de calitate înalt. Clădirile de învățământ sunt într-un amplu program de reabilitare și reconstrucție. Pe lângă alte criterii, aceste clădiri trebuie să asigure un grad ridicat de confort termic și să prevadă o cantitate corespunzătoare de aer proaspăt.

Într-adevăr, se cunosc foarte puțin efectele calității mediului ambiental (IAQ

– Indoor Air Quality) asupra "muncii" în școli [Retezan, 2002]. Există foarte multe studii realizate asupra condițiilor de confort termic în clădiri de birouri, întreprinderi și consecințele asupra productivității indivizilor [Wargocki, 2006a], [Wargocki, 2006b]. Studenții/ elevii își petrec cea mai mare parte a timpului lor în școli, ei neavând ușoara posibilitate de schimbare a spațiilor de desfășurare a activităților, așa cum un angajat poate să-și schimbe locul de muncă, dacă nu este mulțumit de condițiile climatice interioare. Mai multe studii, au demonstrat că, dacă cineva locuiește într-un mediu confortabil, performanțele și productivitatea sa crește. Conform lui Seppänen [Seppänen, 2006], productivitatea muncii de birou fără efort fizic este maximă la o temperatură de 22°C. Randamentul activităților de birou are o tendință crescătoare până la temperaturi de (21 – 22)°C , și scade cu creșterea temperaturii peste (23 – 24)°C. Rezultatele experimentelor lui Wargocki și Wyon, [Wargocki, 2006], din școlile elementare din Danemarca, au arătat că la reducerea temperaturii cu 1°C de la valori de (24 -25)°C, a crescut randamentul elevilor bazat pe logică și calcule elementare de matematică, și când a necesitat concentrare și gândire logică, cu aproximativ (2 – 4)%.

În figura 1.3 se prezintă grafic cele expuse mai sus, cu privire la alinarea curbei de variație a performanței umane în funcție de temperatura interioară. Această aliniere a fost trasată pentru o activitate sedentară. De exemplu la o temperatură de 30.5°C se presupune că performanța este de 90% din performanța maximă care se realizează la o temperatură de 21.5°C, deci performanța s-a redus cu 10% [Wyon, 2006].

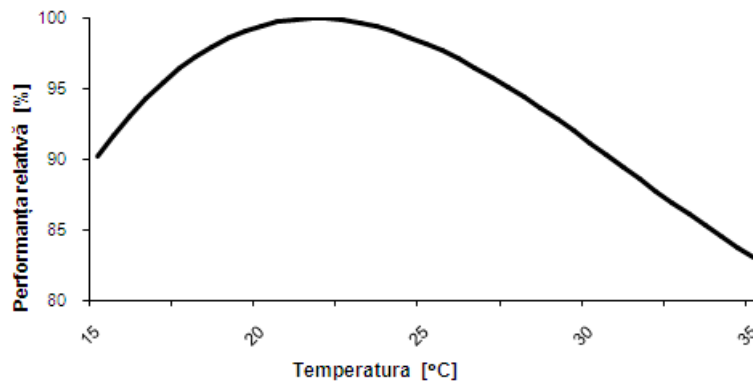


Figura 1.3. Alinarea curbei de variație a performanței umane în funcție de temperatura interioară [Fisk, 2007]

Ecuția pe baza căreia s-a trasat alinarea curbei de variație a performanței relative față de temperatura interioară este:

$$P = 0,1647524 \cdot t_i - 0,0058274 \cdot t_i^2 + 0,0000623 \cdot t_i^3 - 0,4685328 \quad (1.1)$$

unde:

P – productivitatea la valoare maximă;

t_i – temperatura aerului interior, [°C].

Un studiu de cercetare realizat la nivel național de către Sonne [Sonne,

2006] a avut ca scop să informeze asupra influenței climatului interior în școlile din Statele Unite. Mai mult de jumătate din respondenți (50.5%) au indicat "multe" probleme "cronice". Un număr de 22.5% din subiecți au răspuns că temperatura este de departe cel mai important factor care influențează problemele cronice, urmat de calitatea aerului interior, umiditate și miros, a se vedea figura 1.4.

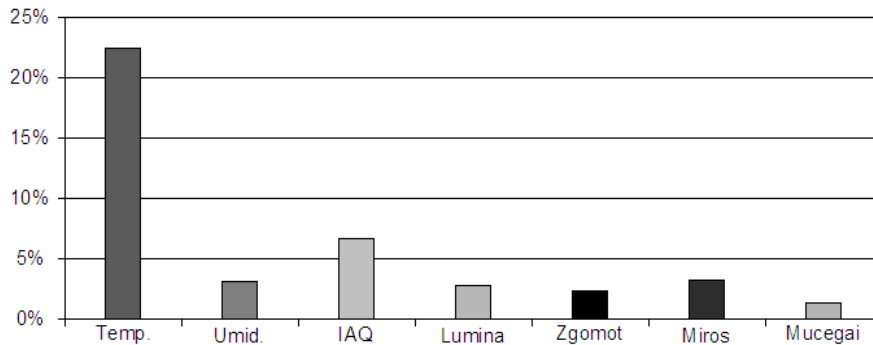


Figura 1.4. Caracteristica de confort reclamată [Sonne, 2006]

Obiectivul acestei lucrări este de a determina efectele celor mai importanți factori ai mediului, cum ar fi temperatura aerului, umiditatea și calitatea aerului interior (IAQ) folosind ca și indicator conținutul de CO₂ din școli, asupra randamentului studenților.

1.3 Scurtă prezentare a conținutului tezei

Lucrarea este structurată în 6 capitole:

Capitolul 1 - Premise și considerații inițiale - în care se evidențiază contextul abordării problemelor de confort termic în clădiri precum și efectul confortului asupra randamentului activității umane, în general, și în școli în special. De asemenea, sunt prezentate obiectivele și oportunitatea tezei.

Capitolul 2 - Aspecte privind confortul ambiental - în care se definește confortul ambiental. Clădirea trebuie să asigure parametrii optimi ai condițiilor termice (temperatură, umiditate, viteza aerului), condițiilor vizuale (grad de iluminare, mediu plăcut), condițiilor acustice (nivel scăzut al zgomotului) și de calitate a aerului (aer proaspăt, control al mirosurilor și poluanților). Obiectivul major este de a asigura condițiile menționate astfel încât ocupanții incintei să fie în total confort (termic, vizual, acustic) într-un mediu sănătos.

Capitolul 3 - Măsurarea principalilor parametri de confort termic - în prima parte se definesc metodele de măsurare a principalilor parametri de confort termic (temperatura aerului interior, temperatura medie de radiație medie, umiditatea relativă, viteza aerului și conținutul de CO₂), iar în cea de-a doua parte sunt redate măsurători ale acestora și evaluarea gradului de confort analitic și statistic pe perioada de vară, respectiv de iarnă într-o sală de curs. De asemenea este prezentată o scurtă selecție a principalelor studii experimentale asupra gradului de confort în funcție de genuri

Capitolul 4 - Simularea confortului termic utilizând programul de calcul TRNSYS - în acest capitol se face o descriere sumară a principalelor programe de simulare a confortului termic. Apoi se prezintă detaliat programul de simulare TRNSYS, versiunea 16. Cu ajutorul programului TRNSYS sunt prezentate un număr de 3 cazuri de simulare prin modificarea numărului de ocupanți dintr-un amfiteatru pentru stabilirea gradului de confort, și anume:

- încăpere cu ventilație naturală și un număr de 50 persoane;
- încăpere cu ventilație naturală și un număr de 250 persoane;
- încăpere cu ventilație naturală și sistem de climatizare;

Capitolul 5 - Randamentul activității didactice în funcție de parametrii de confort ambiental – în care se prezintă un studiu ce pune în evidență legăturile posibile dintre activitatea studenților în cadrul orelor de curs și principalii parametri (temperatură, umiditatea relativă și concentrația de CO₂) specifici climatului interior. Mai corect, pe baza unor teste de atenție concentrată și atenție distributivă, se încearcă determinarea unor valori care să aproximeze randamentul studenților. Cunoscând parametrii climatici interiori (au fost făcute măsurători) se va pune în evidență cu ajutorul corelației relația de dependență ce există între randamentul unui student și condițiile climatice. Plecând de la aceasta, într-o primă etapă se determină câte un model de estimare a activității de instruire și învățare pentru fiecare dintre cei trei parametri climatici. Fiecare model are la bază o funcție gaussiană sau lineară, deoarece aceste funcții estimează cel mai bine procesele naturale.

În partea finală a studiului este propus un model general de estimare a activității didactice a studenților pe baza celor trei parametri obținuți în cadrul a 12 serii de măsurători. Pentru fiecare dintre modelele propuse, modul de obținere al acestora este puternic argumentat și demonstrat.

Capitolul 6 - Concluzii finale. Contribuții personale și direcții de cercetare viitoare - sintetizează concluziile generale, contribuțiile personale precum și direcțiile viitoare de cercetare.

2. ASPECTE PRIVIND CONFORTUL AMBIENTAL

2.1. Definirea confortului ambiental

Noțiunea de confort este o noțiune complexă care reflectă corelația om-mediul, depinzând de o serie de parametri fizici, organici și externi. Senzația de confort dintr-o încăpere este determinată în general de lipsa disconfortului. Mediul trebuie să satisfacă exigențele omului pe lângă un estetic plăcut, cu un nivel acceptabil de zgomot, lumină, calitate a aerului interior și confort termic (lipsa senzației de cald sau rece).

Parametrii care influențează confortul termic [Doboși, 2007] pot fi grupați în trei categorii:

a. Parametrii fizici, și anume:

- temperatura aerului;
- temperatura medie de radiație a suprafețelor cu care corpul uman schimbă căldură prin radiație;
- umiditatea relativă a aerului;
- viteza relativă a aerului în interiorul incintei;
- presiunea atmosferică;
- intensitatea luminii;
- radiațiile luminoase, infraroșii, ultraviolete;
- vibrațiile
- nivelul zgomotului, infrasunetele, ultrasunetele.

b. Parametrii de personalitate (personal), și anume:

- vârsta;
- sexul;
- caracteristicile personale și naționale ale ocupanților.

c. Parametrii externi, și anume:

- nivelul activității umane care determină căldura degajată (metabolismul);
- izolarea termică a îmbrăcăminții;
- condițiile sociale.

Dintre aceștia, cea mai mare influență asupra confortului termic o au: temperatura aerului, temperatura medie radiantă, viteza aerului, umiditatea relativă, rezistența termică a îmbrăcăminții, activitatea ocupantului. Toți acești factori pot varia în funcție de timp. Cu toate acestea, Standardul ASHRAE 55-2010 [ASHRAE 55, 2004], se referă numai la confortul termic într-o stare de echilibru cu specificarea limitelor de variație a acestor factori. Efectele activității sau expunerii anterioare poate afecta percepțiile confortului pentru aproximativ o oră.

Confortul termic poate fi atins prin diferite combinații ale acestor parametri. Efectul pozitiv sau negativ al unui parametru poate fi îmbunătățit sau contrabalansat de un alt parametru. Este însă de preferat ca atingerea confortului termic să se facă cu consum minim de energie [Clements, 2008]. Îmbrăcămintea este parametrul cel mai ușor de modificat pentru menținerea confortului termic [Havenith, 2002].

Mișcarea aerului în jurul corpului poate, de asemenea, influența confortul pentru că determină schimbul convectiv de căldură al corpului și influențează capacitatea de evaporare a apei în aer. Vitezele mari de mișcare a aerului determină creșterea vitezei de evaporare a transpirației consecutiv, apariția senzației de rece și, în plus, reduce efectul negativ al umidității ridicate [Houdas, 1972].

Confortul termic este definit în standardul ISO 7730 [SR EN ISO 7730, 2001] ca fiind „acea condiție a minții care exprimă satisfacție față de mediul termic”. Aceasta este o definiție agreată de cele mai multe persoane deoarece, fiind senzorială și nu obiectivă, nu poate fi ușor convertită în parametri fizici.

În conformitate cu P.Ole Fanger [Fanger, 1974], cerința principală pentru confortul termic este: „ca o persoană să se simtă neutru din punct de vedere termic la nivelul întregului corp”. Evaluarea confortului este subiectivă și include satisfacția, acceptarea, caracterul plăcut sau reacții negative la perceperea ambientului.

În anul 1946 la Paris, cu ocazia unei conferințe ținute de către reprezentanții a 18 state membre ONU, s-a redactat un plan de constituție pentru o organizație mondială a sănătății. OMS „Organizația Mondială a Sănătății” (sau WHO - acronimul în limba engleză a denumirii „World Health Organization”) [WHO, 2012] a fost înființată în anul 1948 la Geneva, având în prezent 193 de state membre. Rolul organizației, stabilit în statutul ei, este menținerea în cea mai bună stare a sănătății oamenilor pe glob. Nivelul de sănătate atins trebuie să-i asigure omului o stare fizică și psihică pentru a putea deveni productiv și folositor societății, stare denumită „manipulare prin confort” [Vischer, 1996].

2.1.1 Calitatea aerului interior

Studiile recente arată că în societatea tehnologică de astăzi oamenii petrec în medie cca 90% din timpul lor în spații închise (acasă, în birouri, mijloace de transport etc). De aici apare necesitatea controlului calității aerului în spațiile închise [Păcurar, 2009]. Ca și pentru evitarea poluării exterioare, se pune problema respectării unor concentrații admise de poluanți în aer. Problema începe cu identificarea surselor poluante, activitate deloc ușoară deoarece s-au identificat aproximativ 8000 de substanțe chimice care contaminează spațiile interioare. Stabilirea concentrațiilor admise este o altă etapă cel puțin la fel de dificilă deoarece lipsesc studiile privind efectele acestor contaminanți asupra sănătății oamenilor.

Clădirea poate prezenta riscuri pentru sănătatea ocupanților în măsura în care adăpostește surse de poluare chimică sau fizică și/sau asigură condiții favorabile de dezvoltare a microorganismelor. Principalele surse de poluare în clădiri pot genera [Mănescu, 1985]:

- **poluanți chimici** - produșii chimici de sinteză fac parte integrantă din mediul nostru ambient. Aceștia se regăsesc în alimente, apă, aer, fiind emiși de materiale de construcții, mobilier, produse de întreținere, vestimentație etc. Efectele poluării chimice asupra stării de sănătate sunt multiple și merg de la simpla percepție senzorială la efecte foarte grave, care pot afecta sistemul respirator, sistemul nervos sau gastrointestinal. Anumiți poluanți chimici sunt încadrați chiar în categoria substanțelor cancerigene. Dacă toxicitatea individuală a celei mai mari părți din acești poluanți este cunoscută, nu se știe practic nimic de toxicitatea acestora când se găsesc în amestec și au concentrații reduse, așa cum se prezintă cel mai adesea în aerul interior al clădirilor în care locuim sau ne desfășurăm activitatea.

- **poluanți fizici** - principalii poluanți fizici prezenți în interiorul clădirilor

sunt umiditatea excesivă, radonul, praful, fibrele (în special de azbest), câmpurile electrice și magnetice, câmpurile electromagnetice de joasă și înaltă frecvență. Prezența acestor poluanți poate cauza cele mai diverse simptome, de la uscăciunea căilor respiratorii, la pierderi de memorie și dificultăți de concentrare până la boala canceroasă.

- **poluanți biologici** - în categoria poluanților biologici pot fi incluși microbii, virușii, bacteriile, polenul și mirosurile care se dezvoltă în aerul interior și care provin de la ființe umane, animale de casă, acarieni, gândaci, plante de interior, mușegai etc. Acestea provoacă alergii, afecțiuni ale căilor respiratorii, cei mai vulnerabili fiind copiii și persoanele în vârstă. Riscurile legate de acești poluanți sunt cu atât mai mari cu cât concentrația este mai mare. O bună calitate a aerului presupune cunoașterea surselor de poluanți, reducerea emisiilor la minimum posibil și evacuarea continuă a poluanților aerieni prin ventilare.

Calitatea aerului interior se asigură prin ventilare naturală sau mecanică [SR EN 13779, 2008] în funcție de destinația încăperii, de tipul surselor de poluare și de activitatea care se desfășoară în încăpere. Există patru categorii de calitate a aerului interior a spațiilor civile, conform tabel 2.1.

Tabel 2.1. Categorii de calitate a aerului interior [SR EN 13779, 2008]

Clasa de calitate a aerului interior	Descriere
IDA 1	Calitate ridicată a aerului interior
IDA 2	Calitate medie a aerului interior
IDA 3	Calitate moderată a aerului interior
IDA 4	Calitate scăzută a aerului interior

Încadrarea în categoriile IDA [SR EN 13779, 2008] menționate, se face în funcție de destinația clădirii, de activitatea din încăperi, de tipul surselor de poluare.

Astfel, pentru clădirile civile în care principala sursă de poluare o reprezintă bio efluenții emiși de oameni, calitatea aerului în încăperile în care nu se fumează, se clasifică după concentrația de bioxid de carbon acceptată la interior, peste concentrația exterioară, conform tabelului 2.2.

Tabel 2.2. Categorii de calitate a aerului interior în funcție de concentrația de CO₂ peste nivelul exterior [SR EN 13779, 2008]

Categoria	Nivelul de CO₂ peste nivelul din aerul exterior, [ppm]	
	<i>Domeniu tipic</i>	<i>Valoare prin lipsă</i>
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1000	800
IDA 4	≥ 1000	1200

Raportul CR 1752 (Ventilare pentru clădiri- Criterii de proiectare pentru mediul interior) [Păcurar, 2011a], arată că dacă ocupanții sunt singura sursă de poluare dintr-o încăpere, concentrația de CO₂ peste nivelul din exterior ar trebui să fie: pentru categoria A: 460 ppm, pentru categoria B: 660 ppm și pentru categoria C: 1190 ppm. Nivelul de CO₂ din exterior este presupus a fi de 350 ppm, astfel nivelul total de CO₂ admis la interior va fi pentru categoria A: 800ppm, categoria B: 1000ppm, categoria C: 1500ppm. Categoria A se referă la un spațiu cu un nivel intens de ventilare, categoria B la un nivel mediu de ventilare, iar categoria C la un

nivel moderat de ventilare.

În figura 2.1 se prezintă curba de predicție a procentajului de persoane nemulțumite de calitatea aerului la interior în funcție de conținutul de CO_2 , după ce au ocupat spațiul respectiv. Curba este trasată ținând cont de rata de ventilare pentru o încăpere unde sursa principală de poluare cu dioxid de carbon sunt persoanele din interior. Concentrația de CO_2 la interior a fost trasată pentru o locație dintr-o zonă în care concentrația de dioxid de carbon (CO_{2ext}) la exterior este în medie de 350ppm.

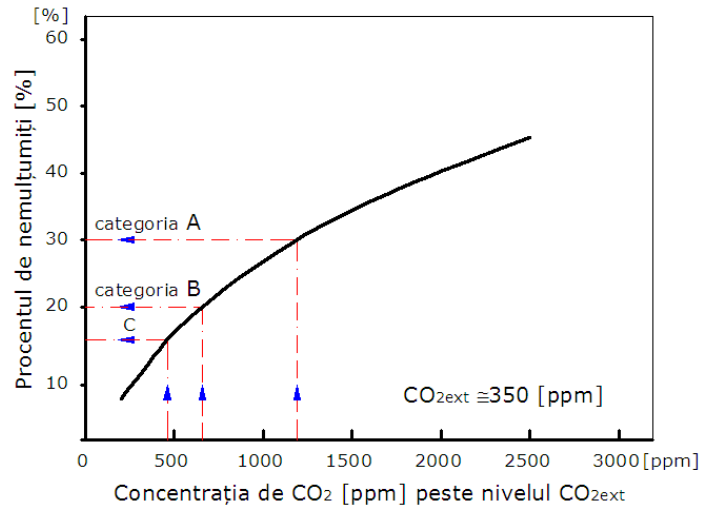


Figura 2.1. Procentul de nemulțumiți în funcție de concentrația de CO_2 de la interior peste nivelul aerului exterior [CR 1752, 1998]

Procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior folosind ca și indicator concentrația de CO_2 , este determinat cu relația [CR 1752, 1998]:

$$PD_{(CO_2)} = 395 \cdot e^{\left[-15,15 \cdot (CO_2 - CO_{2ext})^{-0,25}\right]} \quad (2.1)$$

unde:

CO_2 – concentrația de CO_2 în aerul interior, [ppm];

CO_{2ext} – concentrația de CO_2 în aerul exterior, [ppm];

$PD_{(CO_2)}$ – procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior folosind ca indicator concentrația de CO_2 , [%].

În cazul instalațiilor de ventilare reglate în funcție de concentrația de CO_2 în aerul interior sau în aerul evacuat, nivelul de CO_2 va sta la baza reglării instalațiilor de ventilare în funcție de prezența umană, în vederea menținerii categoriei de calitate a aerului.

Aerul expirat conține CO_2 în proporție de 4,4% din volum. Deoarece bioxidul de carbon nu poate fi filtrat, absorbit sau adsorbit în interiorul încăperilor, măsurarea concentrației de CO_2 permite să caracterizeze starea aerului interior.

În conformitate cu indicativul [NP 008, 1997], concentrația admisă de CO_2 la interior este de 0,05%. În tabelul 2.3 sunt redate debitele de aer proaspăt necesare

pentru o persoană, dacă la exterior concentrația este de 0,04%, pentru diferite activități.

Tabel 2.3. Debite de aer proaspăt pentru diluarea CO₂ [NP 008, 1997]

<i>Activitate</i>	<i>Metabolism [W]</i>	<i>Debit de aer necesar pentru respirație O₂ ≥ 16,3% [l/s-pers]</i>	<i>Debit de CO₂ expirat [l/h]</i>	<i>Debit de aer proaspăt corespunzător pentru diluarea CO₂ la C_{adm} pentru C_{ext}=0,04% [l/s-pers]</i>
Stând liniștit	100	0.1	15.84	0.8
Muncă ușoară	160 – 320	0.2 - 0.3	31.7- 47.5	1.3 - 2.6
Muncă moderată	320 - 480	0.3 - 0.5	47.5 - 79.2	2.6 - 3.9
Muncă grea	480 – 650	0.5 - 0.7	79.2 – 110	3.9 - 5.3
Muncă foarte grea	650 - 800	0.7 - 0.9	110 - 142	5.3 - 6.4

Un nivel crescut de CO₂ în școli poate să aibă influențe negative afectând sănătatea studenților, abilitatea de învățare și randamentul lor. Studiile realizate de [Smedje, 1996a], au semnalat calitatea aerului din școlile din Suedia ca fiind necorespunzătoare, conținutul de CO₂ a crescut cu reducerea aportului de aer proaspăt iar performanțele mentale ale elevilor în școli, au scăzut. Cele mai multe dintre datele disponibile au arătat că concentrațiile mai mari de CO₂, în sălile de clasă, sunt asociate cu o frecvență crescută a simptomelor de sănătate, creștere a absenteismului la elevi [Green, 1974], și scăderea performanțelor în învățare ale elevilor și a productivității personalului [Boerstra, 2010], [Bakó-Biró, 2007].

Bakó-Biro a analizat calitatea aerului în școlile din UK, utilizând CO₂ ca și indicator de ventilare, și a arătat cum sunt influențate sarcinile mentale ale elevilor. Aceste cercetări pun în evidență că o rată scăzută de ventilare în sălile de clase reduce semnificativ atenția elevilor, cu efecte negative asupra memoriei și concentrației [Bakó-Biró, 2008].

Coley și Greeves [Coley, 2004] au observat o reducere a puterii de concentrare cu aproximativ 5% datorită creșterii nivelului de CO₂ de la o medie de 690ppm, la o medie de 2909ppm în școlile cu clase primare.

Studiile realizate în școlile din Washington și Idaho de către Shendell [Shendell, 2004], au concluzionat că creșterea nivelului de CO₂ este asociată cu scăderea atenției și creșterea absenteismului. Bazându-se pe măsurători ale concentrației de CO₂, s-a estimat o rată de ventilare <7.5 l / s persoană pentru mai mult de 45% din școli, mai mică decât rata de ventilare specificată în standardul local ASHRAE 62.1.

În urma studiilor recente realizate [Păcurar, 2011b], [Păcurar, 2012] asupra conținutului de CO₂ în unele săli de clase din mediul universitar din Timișoara, s-a constatat un nivel destul de mare față de nivelul recomandat (CO₂ ≤1000ppm peste nivelul aerului exterior) , rezultând clasa de calitate a aerului interior IDA4 (clasa scăzută a aerului interior conform SR EN 13779:2007).

Niveluri extreme și periculoase ale conținutului de CO₂ sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tabel 2.4. Niveluri extreme și periculoase ale conținutului de CO₂ [Sârbu, 2009]

Efect	Nivel CO₂ [ppm]
Intoxicație ușoară, respirație adâncă și rata pulsului mărită, greață	30.000
Dureri de cap, amețeli, vedere slăbită	50.000
Inconștiență, în plus poate cauza moarte	100.000

Calitatea aerului la interior este determinată de senzația persoanelor la diferite mirosuri prezente în aer. Pentru a cuantifica percepția poluanților aerului, Fanger în anul 1988 a introdus două mărimi: olf și decipol. Un olf reprezintă nivelul olfactiv al bio fluentilor emiși de o persoană standard. O corelație între procentul de insatisfacție cauzat de 1 olf, și de debitul de aer proaspăt q , introdus în incintă, poate fi descrisă de relația [Fanger, 1988]:

$$PD = 395 \cdot e^{-1,83 \cdot q^{0,25}} \quad \text{pentru } q \geq 0,32 \text{ l/s x olf} \quad (2.2)$$

$$PD = 100 \quad \text{pentru } q < 0,32 \text{ l/s x olf}$$

unde:

PD – procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior, [%].

q – debitul de aer proaspăt, [l/s-pers];

Decipolul este reprezentat prin nivelul de poluare dintr-un spațiu închis de către o persoană standard (1 olf) atunci când se introduce un debit de aer proaspăt de 10 l/s. Procentul de insatisfacție cauzat de decipol și calitatea aerului din interior C_i este descris de relația [Fanger, 1988]:

$$PD = 395 \cdot e^{-3,25 \cdot C_i^{0,25}} \quad \text{pentru } C_i \leq 31,2 \text{ decipoli} \quad (2.3)$$

$$PD = 100 \quad \text{pentru } C_i > 0,32 \text{ decipoli}$$

unde:

PD – procentul de persoane nemulțumite de calitatea aerului interior, [%].

C_i – calitatea aerului la interior.

Cele două mărimi reprezintă o bază pentru predicția calității aerului interior.

2.1.2 Zgomotul

Un mediu ambiental pe lângă confortul termic mai este caracterizat și de confortul acustic și vizual [Mendell, 2003].

Zgomotul ambiental poate influența negativ performanța oamenilor odată cu creșterea în intensitate, dând senzații de oboseală, nervozitate sau scăderea nivelului de muncă cantitativă și/sau calitativă.

Efectele zgomotului asupra organismului sunt în funcție de intensitate și durată. Primele efecte datorate zgomotului sunt la nivel psihic prin reducerea atenției și performanțelor activității bazate pe memorie de scurtă durată, la nivel vegetativ prin creșterea activității cardiace ajungând până la slăbirea auzului și dificultăți în coordonarea mișcărilor.

Nivelul relativ al sunetului la nivel de conversație discretă este între 20 – 50dB, ajungând la un nivel de 65 dB la conversație cu voce tare. Pragul senzației dureroase se atinge la un nivel de 130 dB.

Există o serie de măsuri pentru prevenirea și limitarea depășirii anumitor niveluri de zgomot. Aceste măsuri sunt de natură socială (norme și legi), tehnice (atenuatoare de zgomot, pereți fonoabsorbanți), igienice etc [Bluyssen, 2008].

La evaluarea modului în care zgomotul perturbă o activitate, trebuie ținut cont de următorii factori:

- zgomotul neașteptat și/sau intermitent deranjează mai mult decât cel continuu;
- zgomotele cu un spectru mai bogat în frecvențe înalte, deranjează mai mult decât cele cu frecvențe joase;
- activitățile în care atenția este foarte importantă sunt perturbate în mai mare măsură decât celelalte;
- sensibilitatea la zgomot este mai mare în activitățile de instruire/ predare decât în lucrările de rutină.

2.1.3 Iluminatul

Un iluminat natural sau artificial corespunzător constituie un factor hotărâtor în obținerea performanței. Senzațiile vizuale și analizorul vizual sunt implicate în 90% dintre modalitățile de recepție a informațiilor, jucând un rol important în activitatea profesională.

Spectrul luminos utilizat trebuie să fie continuu iar temperatura culorii adaptată iluminatului.

O ambianță luminoasă este caracterizată de intensitatea luminoasă, definită ca volumul fluxului luminos pe o anumită suprafață. Unitatea de măsură a intensității luminoase este lux-ul.

Intensitatea luminoasă într-o încăpere poate fi asigurată printr-un iluminat natural sau artificial.

Iluminatul natural are un avantaj că este mai economic, nu obosește ochii dar variază în cursul zilei. Iluminatul artificial pe lângă faptul că nu este economic, și obositor pentru ochi, prezintă și o serie de avantaje (elimină contrastele și umbrele, repartizare uniformă a luminii, lumină apropiată de cea naturală).

La dimensionarea și proiectarea corespunzătoare a sistemelor de iluminat artificial în vederea asigurării confortului vizual trebuie luat în considerare următoarele aspecte:

- alegerea corectă a echipamentelor electrice utilizate, astfel încât instalația de iluminat să prezinte un grad ridicat al eficienței energetice;
- alegerea adecvată a tipului de sistem de iluminat în funcție de destinație;
- utilizarea de metode de calcul precise pentru stabilirea soluției luminotehnice;
- utilizarea programelor de calcul specializate în vederea evitării supradimensionării sau subdimensionării sistemelor de iluminat artificial;

În proiectarea sistemelor de iluminat interior general pentru spațiile de învățământ: amfiteatre, laboratoare, săli de lectură, săli de calculatoare se recomandă un nivel de iluminare de 500 lx iar pentru săli de sport, săli de clasă, săli de consultații se recomandă un nivel de iluminare de 300 lx pentru asigurarea gradului de confort vizual.

Toți parametrii fizici ai mediului sunt legați între ei, iar sentimentul de

confort al unui ocupant implică toți acești factori [Eduardo, 2004].

2.2. Parametrii principali care influențează confortul termic

În conformitate cu Standardul European ISO 7730, senzația de cald sau rece în interiorul încăperilor depinde, în principal, de componentele: temperatura aerului și repartiția acesteia în timp și în spațiul de ședere, temperatura medie de radiație și unghiul solid sub care ocupantul este situat față de suprafețele cu diferite temperaturi, umiditatea aerului, viteza aerului în zona de lucru, îmbrăcămintea, efortul depus. Aceștia constituie parametrii confortului termic, la care se adaugă direcția de mișcare a aerului, părțile din corp expuse curentului, turbulența mișcării etc.

2.2.1 Temperatura aerului din interior

Temperatura aerului interior, reprezintă cel mai comun indicator al confortului termic [SR EN 7726, 2001]. Din motive practice poate fi definită ca temperatura aerului din jurul corpului uman, care este reprezentativă pentru determinarea fluxului de căldură dintre organism și mediu. Firește, temperatura aerului variază, funcție de schimburile energetice, într-un proces continuu. Temperatura aerului măsurată la o distanță considerabilă de corpul de interes nu va fi reprezentativă pentru determinarea fluxului de căldură. De asemenea nu este reprezentativă nici în cazul temperaturii aerului măsurată în apropierea corpului îmbrăcat, aceasta este influențată de condițiile la limită. Într-un mediu rece va exista un strat de aer cald în jurul corpului.

Diferența maximă de temperatură admisă între temperatura aerului interior și temperatura medie de radiație a suprafețelor delimitatoare constituie un criteriu de confort termic și este în funcție de destinația clădirii și de tipul elementului de construcție. Pentru clădiri de locuit normativele în vigoare prevăd o diferență de 4 °C în raport cu pereții, 3 °C în raport cu tavanul și 2 °C în raport cu pardoseala [ASHRAE HF, 2009].

Din punct de vedere fiziologic, se estimează că temperatura aerului care va conveni mediului unui individ așezat, normal îmbrăcat și fără activitate fizică, se situează în jurul valorii de 22 °C, iarna, și 22...26°C, vara, pentru temperaturi exterioare medii. Temperatura optimă pentru un corp dezbrăcat este de 28°C.

Aceste valori ale temperaturii sunt medii ce trebuie luate în calcul. În zilele călduroase de vară și pentru o ședere de scurtă durată în ambianțe climatizate este recomandabil să se mențină o temperatură în jurul valorii $(20+t_{ext})/2$ (t_{ext} - temperatura aerului exterior).

Pentru alegerea corectă a temperaturii ambientale, se observă că:

- temperaturile scăzute sunt preferate de persoanele tinere, iar cei în vârstă preferă în general mai multă căldură;
- femeile preferă temperaturi mai ridicate, având gradul de izolație termică al îmbrăcăminții mai scăzut;
- în spațiile prevăzute cu ventilație mecanică datorită numărului mare de ocupanți, temperatura interioară, trebuie să fie mai ridicată pentru a compensa pierderile de căldură ale ocupanților produse de mișcarea forțată

a aerului.

Pentru un individ îmbrăcat normal și efectuând o activitate lejeră există o zonă de confort reprezentată în figura 2.2. Este imposibil de a mulțumi toate persoanele dintr-o încăpere.

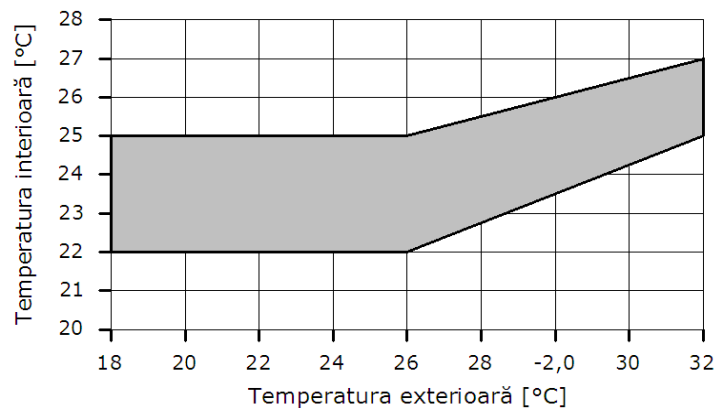


Figura 2.2. Zona de confort termică în funcție de temperatura ambientală [Manualul de Instalații, 2010]

În tabelul 2.5, sunt prezentate valorile normate ale parametrilor climatici interiori conform ISO 7730:2006.

Tabel 2.5. Valori normate ale parametrilor climatici interiori [SR EN ISO 7730, 2006]

Parametri de confort termic	Iarna (Activitate sedentară ~1,2 met; Îmbrăcămintă: 1 clo)	Vara (Activitate sedentară ~1,2 met; Îmbrăcămintă: 0,5 clo)
Temperatura de confort	Diferite valori funcție de destinația încăperii	25,6
Temperatura operativă	18 - 21	25,5 – 27
Temperatura medie de radiație	$t_r - t_i \leq 4$	$t_r - t_i \leq 4$
Gradientul vertical de temperatură (între nivelul capului și a membrelor)	< 3	< 3
Temperatura pardoselii	19 – 29	19 – 29
Umiditatea relativă	30 ~ 70 % (50%)	30 ~ 70 % (50%)
Viteza medie a aerului	< 0,15 m/s	> 0,25 m/s
Flux termic radiant efectiv	50 – 150 W/m ²	40 – 125 W/m ² – Tavan 50 W/m ² – Pardoseală

Diagrama din figura 2.3 indică zona de confort pentru perioada de vară sau iarnă, în funcție de temperatură, după termometrul uscat și umed al aerului din mediul ambiant. Pentru temperaturi exterioare, care depășesc 32°C – vara,

diagrama nu se poate utiliza. Temperatura interioară va trebui să fie mai ridicată pentru a evita o diferență prea mare față de exterior .

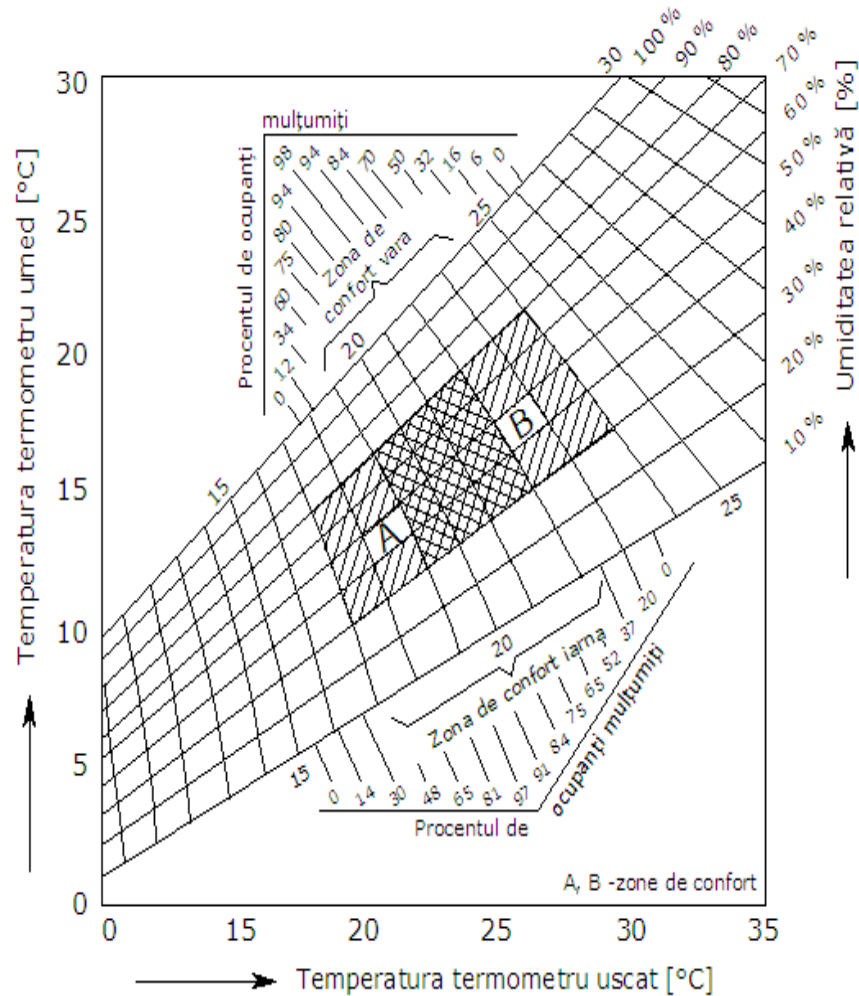


Figura 2.3. Zona de confort termică în funcție de temperatura ambiantă pentru vară, respectiv iarnă [Missénard, 1959]

Pentru o ambianță dată, un rol important în asigurarea unei calități termice îl are uniformitatea temperaturii. În toate încăperile încălzite sau ventilate, în funcție de sistemul de încălzire și/sau de distribuție a aerului, de temperatura corpurilor de încălzire și/sau de temperatura de refulare a aerului, în funcție de temperatura exterioară, există un gradient de temperatură atât în plan orizontal cât și în plan vertical. În figura 2.4 se prezintă câteva valori medii pentru gradientii verticali ai diferitelor tipuri de sisteme de încălzire.

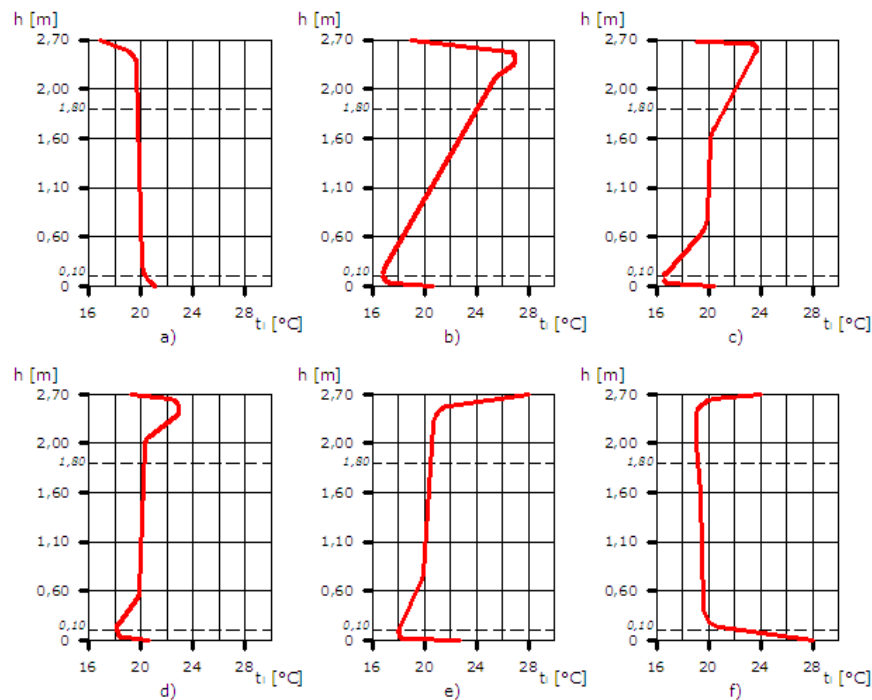


Figura 2.4. Variația ideală a temperaturii pe verticala incintei (a) și pentru diverse sisteme de încălzire: încălzirea cu aer cald (b); încălzirea cu sobe de teracotă (c); încălzirea centrală (d); încălzirea prin plafon (e); încălzirea prin pardoseală (f). [Manualul de Instalații, 2010]

În figura 2.4 s-a ținut cont doar de repartitia temperaturilor pe verticală. Asigurarea unei variații ideale se obține printr-o arhitectură adecvată și o instalație corespunzătoare. Pentru aceasta, corpurile de încălzire trebuie amplasate în apropierea anvelopei construcției.

2.2.2 Temperatura medie de radiație

Temperatura medie de radiație [SR EN 7726, 2001] a încăperii reprezintă o mărime de referință pentru aprecierea schimbului de căldură prin radiație între om și spațiul în care se află și prezintă aceeași importanță în aprecierea confortului termic ca și temperatura interioară și nu poate fi măsurată.

Temperatura medie de radiație este definită ca și temperatura uniformă a suprafeței unei incinte negre în care un ocupant ar schimba aceeași cantitate de căldură prin radiație ca și în încăperea dată, cu temperatură neuniformă.

Valoarea temperaturii medii de radiație se calculează cu relația:

$$t_{mr} = \frac{\sum A_i \cdot t_i}{\sum A_i}; \quad [W] \quad (2.4)$$

unde:

A_i – reprezintă fiecare suprafață i (perete, corp de încălzire, fereastră etc.) , [m²];

t_i – temperatura corespunzătoare suprafeței i , [°C].

Temperatura medie de radiație variază invers proporțional cu temperatura aerului interior, adică o creștere a temperaturii medii de radiație are loc concomitent cu scăderea temperaturii aerului interior și invers deoarece determină în mod direct schimbul de căldură prin radiație între om și mediu.

În completarea temperaturilor de bază , temperatura aerului interior t_i și temperatura medie radiantă t_r , cel mai simplu indice de temperatură derivat pentru schimbul de căldură sensibil între om și mediu este temperatura operativă t_o . Conform [SR EN ISO 7730, 2006], anexa G, mai poate fi scrisă și ca:

$$t_o = A \cdot t_i + (1 - A) \cdot t_r; \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.5)$$

în care valoarea coeficientului A este dată în funcție de viteza relativă a aerului v_{ar} , în metri pe secunda, în tabelul 2.6.

Tabel 2.6. Valoarea lui A în funcție de viteza relativă a aerului v_{ar} .

v_{ar} [m/s]	< 0,2	0,2 ÷ 0,6	0,7 ÷ 1,0
A	0,5	0,6	0,7

În figura 2.5 este indicată zona de confort în funcție de temperatura rezultantă uscată cuprinsă în intervalul (19 ÷ 23)°C pentru diverse valori ale temperaturii aerului interior, în cazul unei temperaturi exterioare de -10°C.

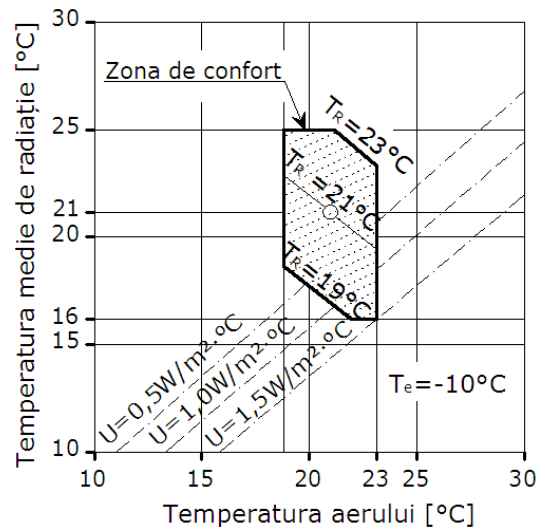


Figura 2.5. Zona de confort în funcție de temperatura aerului și de temperatura medie de radiație [Manualul de Instalații, 2010]

Variația temperaturii suprafețelor delimitatoare ale încăperii în funcție de temperatura exterioară este reprezentată în figura 2.6. În cazul temperaturilor foarte scăzute este indicat ca temperatura la suprafața interioară a peretelui să nu

coboare sub 16°C.

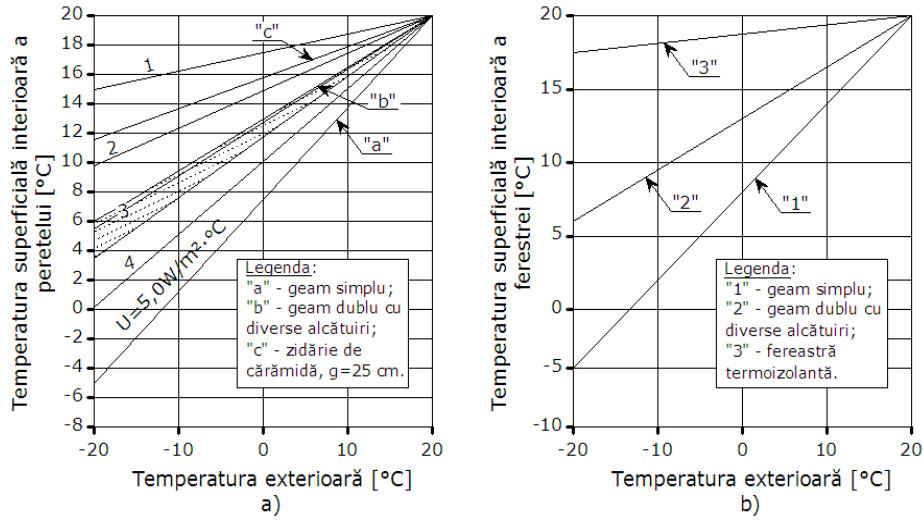


Figura 2.6. Temperatura superficială interioară a elementelor anvelopei clădirii
a) perete, b) fereastră. [Manualul de Instalații, 2010]

În figura 2.7 este reprezentat schimbul de căldură dintre om-mediul prin influența temperaturii superficiale a pereților și poziția sursei de încălzire.

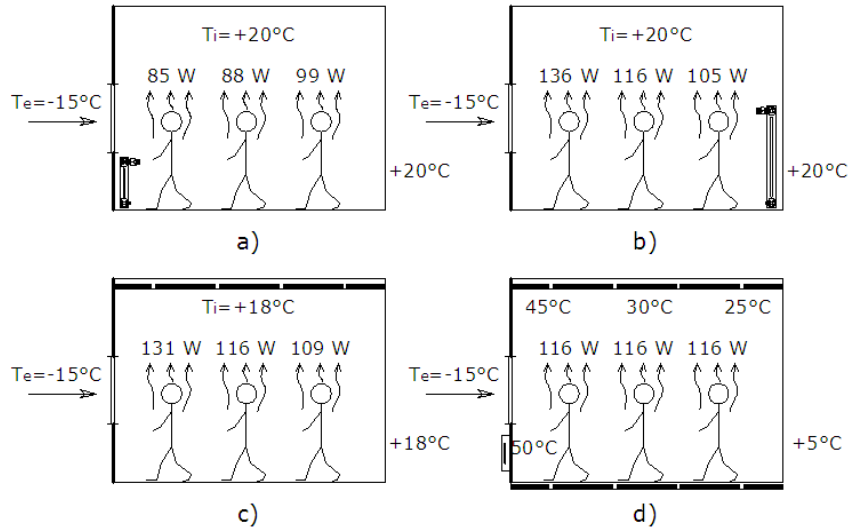


Figura 2.7. Schimburile termice om-mediul în funcție de modul de încălzire [Manualul de Instalații, 2010]

Se poate observa că schimbul de căldură dintre om și mediu este influențat de temperatura superficială a pereților și poziția sursei de încălzire. Ținând cont de amplasamentul corpului de încălzire, valoarea temperaturii și poziția față de sursa de căldură și fereastră, se poate observa că degajările de căldură ale omului diferă. Cu cât variația temperaturii elementelor înconjurătoare diferă mai mult, cu atât și variația degajărilor este mai mare. La încăperi cu sisteme de încălzire perimetral uniforme, disconfortul termic datorat schimburilor de căldură este mai mic [van der Linden, 2002].

2.2.3 Umiditatea relativă a aerului

Confortul termic depinde și de umiditatea aerului interior, care poate fi controlată printr-o instalație de climatizare, dar nu este neapărat necesar. Controlul umidității se realizează numai în clădiri în care tipul activității necesită condiții speciale, sau la cererea scrisă a beneficiarului, deoarece necesită un consum de energie suplimentar. Pentru clădirile care nu necesită controlul umidității, instalația de climatizare se dimensionează pentru o umiditate de 50% .

Umiditatea relativă [Bancea, 2000] a unei ambianțe termice se exprimă cu relația:

$$\varphi = \frac{P_a}{P_s} \cdot 100; \quad [\%] \quad (2.6)$$

unde:

P_a – presiunea parțială a vaporilor de apă din aerul umed, [mmHg];

P_s – presiunea de saturație a vaporilor de apă, [mmHg]

Utilizând domeniul tipic de temperatură a aerului pentru o zonă încălzită sau ventilată/ climatizată, adică de la 20 la 27 °C, evaporarea apei de la suprafața pielii este nesemnificativă cantitativ, jucând un rol minor în determinarea echilibrului dintre om și mediul termic.

Conform standardului EN ISO 7730: 2006, pentru a păstra o stare acceptabilă de confort la interior, umiditatea relativă poate varia între 30 și 70%.

Limita inferioară (30%) trebuie respectată pentru a preveni uscarea ochilor, dar, de asemenea, pentru a împiedica circulația de praf și de alți poluanți în aerul de interior. În acest scop, în clădirile prevăzute cu sistem de ventilație centralizat, aerul exterior necesită umidificare înainte de a fi refulat în interior.

Limita superioară de umiditate (70% sau mai puțin, în funcție de temperatura din interior) trebuie să fie respectată pentru a evita trei probleme posibile:

- apariția condensului pe fațada interioară a elementelor de construcție exterioare slab izolate (ferestre, pereți) în timpul iernii;
- senzație de sufocare, care poate apărea la o umiditate relativă prea mare în raport cu temperatura din interior;
- dezvoltarea ciupercilor în aerul de interior și degradarea materialelor de construcție.

Umiditatea aerului se mai exprimă prin punctul de rouă – (τ) – temperatura la care trebuie răcit aerul umed, la presiune constantă și cu un conținut constant de vapori pentru a se obține saturația în raport cu o suprafață plană de apă pură.

Întrucât umiditatea relativă se bazează pe conținutul de vapori de apă din aer, umiditatea relativă poate fi modificată în două moduri:

a) suplimentarea de vapori de apă prin evaporare determină creșterea umidității relative;

b) al doilea mod implică o schimbare în temperatură; astfel, se poate spune: cu o umiditate specifică (conținutul de vapori de apă) la un nivel constant, o descreștere în temperatura aerului determină o creștere în umiditatea relativă iar la o creștere în temperatură, umiditatea relativă scade.

În norma germană VDI 4706, se prezintă efectele combinate dintre variația umidității și a temperaturii operative pentru a rezulta același indice de confort PMV, în concordanță cu ecuația de bilanț termic propusă de Fanger, vezi figura 2.8.

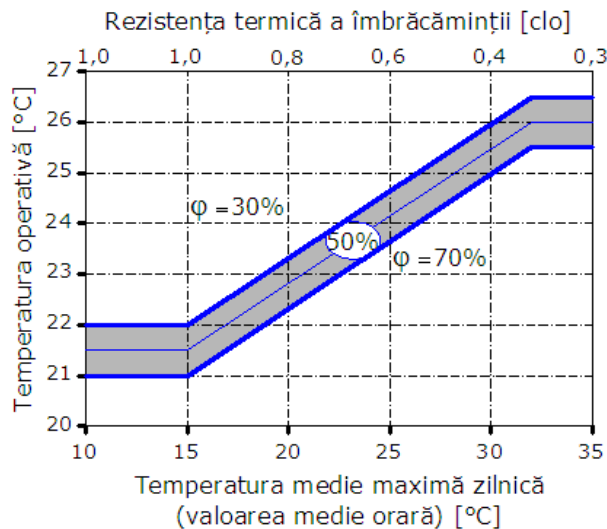


Figura 2.8. Temperatura operativă în comparație cu valoarea maximă a temperaturii medii zilnice pentru o valoare PMV=0 [VDI 4706, 2009]

Ca răspuns la modificările condițiilor exterioare se ține cont prin schimbarea rezistenței termice a îmbrăcăminții și a temperaturii operative interioare. Valoarea rezistenței îmbrăcăminții se presupune a fi pentru perioada de vară de 0,4 clo, iar pentru perioada de iarnă de 1,0 clo în condițiile unei activități sedentare cu o rată metabolică de 1,2met.

2.2.4 Viteza aerului

Un alt parametru care influențează confortul termic este reprezentat de viteza aerului [SR EN 7726, 2001]. Astfel, dacă temperatura aerului este mai mare decât temperatura corpului și umiditatea este redusă, creșterea mișcării aerului va reduce temperatura corpului prin intensificarea procesului de evaporare. În aceleași condiții de temperatură și umiditate, în absența mișcării aerului, corpul nu poate pierde o cantitate mare de căldură prin evaporare. Astfel, va apărea căldura insuportabilă, și deci reducerea capacității de lucru precum și senzația de disconfort.

Viteza medie a aerului este recomandată în tabelul 2.7, pentru un indice de curent DR (DR – indicele persoanelor deranjate de senzația de curent) cuprins între 10 și 20% și o intensitate a turbulenței de 40%.

Tabel 2.7. Valori recomandate pentru viteza aerului din încăperi [SR EN 13779, 2008]

Temperatura locală a aerului T_a (°C)	Domeniu tipic	Valoare prin lipsă (DR=15%)
$T_a = 20$	de la 0,1 la 0,16	$v \leq 0,13$
$T_a = 21$	de la 0,1 la 0,17	$v \leq 0,14$
$T_a = 22$	de la 0,11 la 0,18	$v \leq 0,15$
$T_a = 24$	de la 0,13 la 0,21	$v \leq 0,17$
$T_a = 26$	de la 0,15 la 0,25	$v \leq 0,20$

În condițiile unui procent mai mic de 15% de nemulțumiți de efectul curenților de aer, vitezele curenților de aer trebuie să se situeze sub valorile indicate în fig. 2.9.

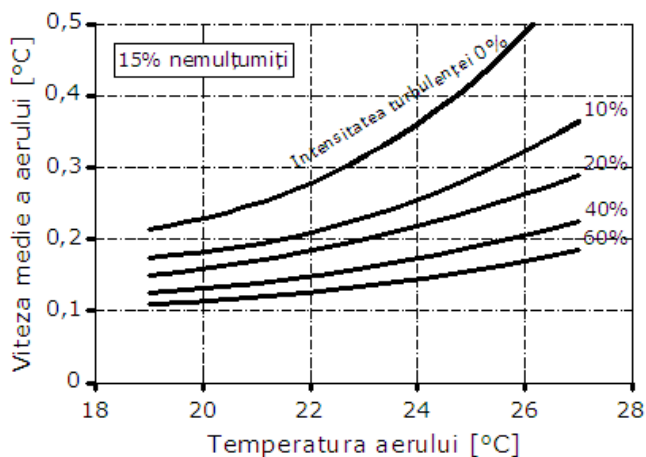


Figura 2.9. Viteza medie a aerului admisă în funcție de temperatura aerului și de intensitatea turbulenței. [SR EN ISO 7730, 2006]

Această figură se aplică pentru o activitate ușoară, preponderent sedentară ($1,2 \text{ met} = 70 \text{ W/m}^2$)

2.2.5 Metabolismul

Organismul uman produce căldură încontinuu. Această producție de căldură metabolică poate fi de două feluri:

- metabolism de bază, ca urmare a proceselor biologice care sunt continue și subconștiente;
- metabolism muscular, în timpul desfășurării activităților, care este conștient controlabil (cu excepția frisoanelor).

O privire de ansamblu asupra modalităților prin care se poate atinge confortul termic uman este dată de echilibrul termic al corpului uman care reprezintă bilanțul între căldura produsă ca rezultat al metabolismului și căldura schimbată cu mediul exterior (termoliza) prin convecție, conducție, radiație și

evaporare.

În fiecare corp uman au loc procese biochimice. Producția de energie este un rezultat al acestor procese. O parte a energiei corpului uman se transmite mediului, sub formă de căldură, și o altă parte este folosită în scopul efectuării de lucru mecanic. Pentru procesele biochimice este necesar oxigen. Cantitatea de oxigen consumat depinde de intensitatea activității realizate. O persoană adultă medie în repaus consumă aproximativ 15 m³/h de oxigen și produce o putere termică de aproximativ 88 W

Pe baza consumului de oxigen, activitățile fizice au fost clasificate astfel:

a) activități fizice ușoare – sunt acele activități la care consumul de oxigen al unei persoane adulte nu depășește multiplul de doi din consumul în repaus, respectiv până la 30 m³/h, iar fluxul de căldură produs de organism nu depășește 175 W;

b) activități fizice cu un grad mediu de dificultate – acele activități, la care consumul de oxigen se află între multiplii 2-4 din consumul în repaus, respectiv între 30-60 m³/h, iar fluxul de căldură produs de organism va fi între 175-350 W;

c) activități fizice dificile - acele activități la care consumul de oxigen este un multiplu de 4-8 din consumul în repaus, respectiv 60-120 m³/h și fluxul de căldură produs de organism se încadrează între 350-750 W.

Pentru o persoană adultă standard (cu o suprafață a corpului de circa 1,8 m²), valorile fluxului termic emis în funcție de activitatea desfășurată de aceasta sunt redate în tabelul 2.8 [ISO 8996, 2004].

Tabel 2.8. Fluxuri termice medii emise de o persoană în funcție de activitate [ISO 8996, 2004]

Nr. crt.	Activitate considerată	M [W/m ²]	M [met]
1	Somn	36	0,6
2	Repaus lungit	41	0,7
3	Repaus, așezat pe scaun	52	0,9
4	Activitate sedentară (muncă de birou, audierea cursurilor sau conferințelor etc.)	62	1,1
5	Activitate normală desfășurată stând în picioare (munca personalului din servicii, obligat să nu se așeze: vânzători, recepționeri etc.)	78	1,3
6	Activitate desfășurată stând în picioare și care implică concentrare intelectuală (munca desfășurată de conferențieri, doctori în operație etc.)	88	1,5
7	Activitate desfășurată stând în picioare și care implică efort fizic : 7.1. - treabă la bucătărie, 7.2. - curățenie în locuințe, camere de hotel, 7.3. - serviciu în restaurante, 7.4. - spălat manual rufe ușoare (lenjerie), 7.5. - spălat rufe grele (cearșafuri, draperii etc.), 7.6. - transport greutăți (30 ... 50 kg).	103 93 129 125 155 207	1,8 1,6 2,2 2,2 2,7 3,6
8	Activități sportive și muncă foarte grea	155 - 233	2,7-4,0

Rata căldurii metabolice este determinată cu acuratețe de debitul de oxigen consumat prin respirație și producerea de bioxid de carbon. O ecuație empirică pentru rata metabolismului este dată de [Nishi, 1981] și este prezentată mai jos:

$$M = \frac{21 \cdot (0,23 \cdot RQ + 0,77) \cdot Q_{O_2}}{S_{Du}} \quad (2.7)$$

unde:

M – rata căldurii metabolice, $[W/m^2]$;

RQ – coeficient respiratoriu, definit ca raport între debitul de CO_2 expirat și debitul de O_2 inhalat;

Q_{O_2} – debit volumic de O_2 consumat la o temperatură de $0^\circ C$, și presiune atmosferică de $101,325 \text{ kPa}$, $[m^3/s]$;

Condiția pentru a se asigura confortul termic uman într-o încăpere dată este de a asigura echilibrul termic al organismului uman în vederea păstrării temperaturii acestuia.

Transferul de căldură între om și mediul înconjurător se realizează conform figurii 2.10, prin: convecție și conducție, radiație respectiv evaporare [Rutman, 2000].

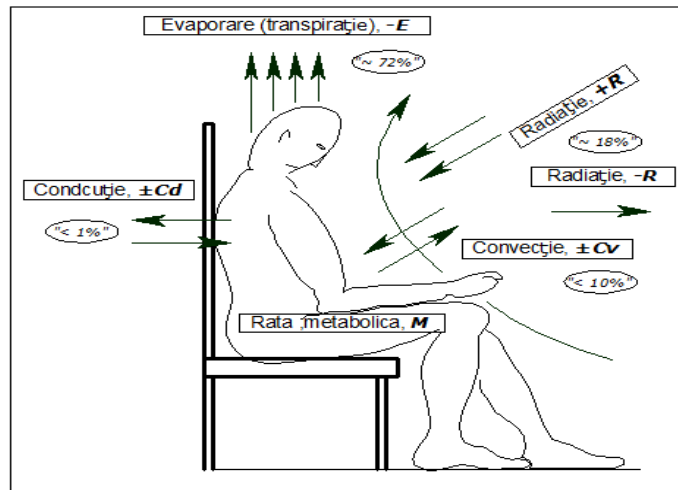


Figura 2.10. Schimburi de căldură ale corpului uman [Retezan, 2012]

Activitatea metabolică a corpului constă în transformarea alimentelor ingerate în energie și alte componente necesare corpului cu eliminarea apei, a dioxidului de carbon și a deșeurilor diverse. Energia asigură funcțiile vitale ale organismului și activitatea musculară, rezultând o degajare de căldură cu menținerea temperaturii interne în jurul valorii de $37^\circ C \pm 0.8^\circ C$ prin sânge. Producția de căldură (numită și termogeneză) este rezultatul activității metabolice. Aceasta din urmă este direct influențată de nivelul activității fizice [Manualul de Instalații, 2010].

Pentru atingerea echilibrului termic, corpul uman variază permanent raportul între căldura cedată și produsă. Menținerea acestui echilibru este prima condiție pentru a atinge o senzație neutră din punct de vedere termic. Fanger arăta că

“sistemul termoregulator al omului este destul de eficient și tinde mai întâi să realizeze un echilibru termic aproximativ fără să existe cu adevărat confort pentru a ajusta apoi reacția sa la stimulii exteriori”.

Legătura dintre parametrii: temperatura pielii, temperatura miezului corpului și activitatea ce determină senzația termică neutră este prezentată în figura 2.11.

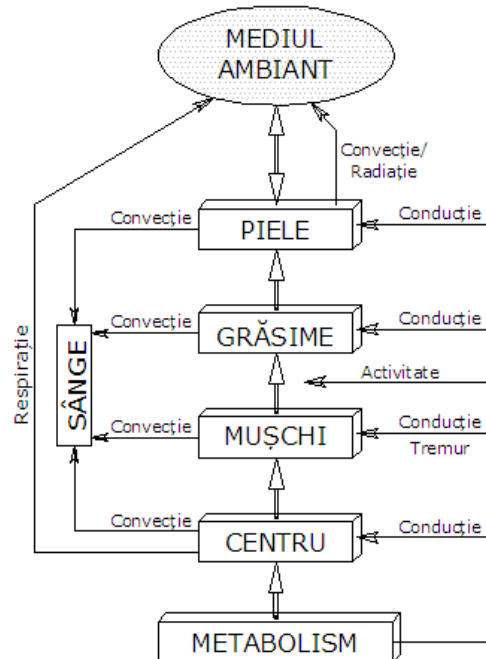


Figura 2.11: Bilanțul energetic al corpului uman

Căldura produsă în centrul corpului de către metabolism este transmisă către suprafața pielii în mare parte prin conducție și convecție, de unde prin convecție și radiație se realizează schimbul om – mediu ambiant

2.2.6 Izolația termică a îmbrăcăminții

Îmbrăcămintea are o influență deosebită asupra senzației de confort. Izolația termică dată de o ținută vestimentară se caracterizează prin rezistențele termice ale elementelor îmbrăcăminții, care variază în limite foarte largi.

Notația unității de măsură pentru rezistența termică oferită de haine este "clo" și vine de la cuvântul englezesc clothing (îmbrăcămintea). Îmbrăcămintea are rolul de a reduce căldura pierdută de corpul uman și este clasificată în funcție de valoarea izolației termice pe care aceasta o oferă.

În tabelul 2.9 sunt prezentate valorile izolației furnizate de diverse articole vestimentare [SR EN ISO 7730, 2006].

Tabel 2.9. Valori ale rezistenței termice ale vestimentației [*clo*] [SR EN ISO 7730, 2006].

Ținută vestimentară	Rezistența termică (<i>clo</i>)
Om dezbrăcat	0
Pantaloni scurți	0,1
Haine pentru climat tropical (subțiri)	0,3
Haine de vară (îmbrăcăminte ușoară)	0,5
Salopetă de lucru	0,8
Haine de interior pentru iarnă	1,0
Costum	1,5

Valoarea unității de măsură pentru izolația furnizată de îmbrăcăminte este $1\text{clo}=0,155\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$.

2.3 Bilanțul termic al corpului uman

Căldura produsă de corpul uman trebuie să fie disipată în mediu, sau va provoca o schimbare a temperaturii corpului. Temperatura corpului este de aproximativ 37°C , în timp ce temperatura pielii poate varia între 31°C și 34°C în condiții de confort termic. Variații apar în timp, de asemenea între părți ale corpului, în funcție de acoperirea cu haine și circulația sângelui. Există un schimb continuu de căldură din interiorul corpului la suprafața pielii, de unde este disipată către mediul înconjurător prin: radiație, convecție, conducție și evaporare [Auliciems, 2007].

Bilanțul termic al corpului uman poate fi exprimat conform relației de mai jos:

$$Q_M \pm Q_R \pm Q_{CV} \pm Q_{Cd} - Q_E = \Delta S; \quad [W] \quad (2.8)$$

unde:

Q_M - căldură produsă prin metabolism, [W];

Q_R - schimbul de căldură prin radiație, [W];

Q_{CV} - schimbul de căldură prin convecție, [W];

Q_{Cd} - schimbul de căldură prin conducție, [W];

Q_E - pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W];

ΔS - căldură înmagazinată, [W];

În cazul în care căldura înmagazinată (ΔS) are o valoare pozitivă, temperatura corpului crește, iar dacă valoarea este negativă, temperatura corpului scade. Rata de disipare a căldurii depinde de factorii de mediu, corpul uman nu este pasiv, el este homotermic, având mai multe mecanisme fiziologice de reglare.

În condiții calde corpul răspunde prin vasodilatație, adică prin dilatarea vaselor de sânge subcutanate și creșterea necesarului de sânge la nivelul pielii, implicit a temperaturii pielii, care va duce la creșteri ale căldurii disipate de corp. Dacă nu se poate reda un echilibru termic glandele sudoripare sunt activate și va funcționa mecanismul de răcire prin evaporare. Transpirația va fi produsă pentru perioade scurte de timp la o rată de 4 l/h, dar acest mecanism este obositor, deoarece rata normală este de 1l/h. Evaporarea este un proces endotermic, ea absorbând căldură la o rată de 2.4MJ/l.

La condițiile reci răspunsul corpul este dat de vasoconstricție, prin reducerea circulației la nivelul pielii, ducând la scăderea temperaturii de la nivelul pielii, deci reducând rata de disipare a căldurii.

2.3.1. Procese de schimb de căldură ale corpului

Modelul generalizat al bilanțului termic din ecuația 2.8, a fost propus pentru prima dată de Gagge [Gagge, 1936]. Schimbul de căldură prin conducție a fost în mod normal neglijat, acest lucru putând fi redat prin ecuația:

$$Q_M \pm Q_R \pm Q_{CV} - Q_E = \Delta S; \quad [W] \quad (2.9)$$

unde:

Q_M - căldură produsă prin metabolism, [W];

Q_R - schimbul de căldură prin radiație, [W];

Q_{CV} - schimbul de căldură prin convecție, [W];

Q_E - pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W];

ΔS - căldură înmagazinată, [W];

De atunci această relație a suportat mai multe modificări și îmbunătățiri, acum cele mai utilizate variante [Auliciems, 2007] sunt:

- „Modelul celor două noduri” al Institutului de Cercetare John B. Pierce Laboratory, institut nonprofit afiliat cu Universitatea Yale.

- „Modelul Fanger”, care reprezintă cea mai utilizată și reprezentativă ecuație de confort termic.

2.3.1.1. Modelul celor două noduri

Această metodă analizează în primul rând transferul de căldură din interiorul corpului spre nivelul pielii, apoi de la piele spre mediul înconjurător [Gagge, 1971], [Gagge, 1974].

Metabolismul M are dimensiunea unei puteri și se exprimă în [W] sau [met]. O parte este convertită în lucru mecanic, iar o altă parte este pur termică și metabolismul se poate scrie:

$$M = M_t + M_m; \quad [W] \quad (2.10)$$

unde:

M - metabolismul, [W];

M_m - partea mecanică a metabolismului, [W];

M_t - partea pur termică a metabolismului, [W].

Partea mecanică a metabolismului este mai mică în raport cu partea termică.

Randamentul activității umane (η) este dat de relația:

$$\eta = \frac{M_m}{M} \leq 0,2 \quad (2.11)$$

iar căldura produsă de om prin metabolism este:

$$M_t = M \cdot (1 - \eta); \quad [W] \quad (2.12)$$

Uzual termenii conținuți în bilanțul termic se raportează la unitatea de suprafață a corpului, S_{Du} , rezultând ecuația:

$$M \cdot (1 - \eta) / S_{Du}; \quad [W / m^2] \quad (2.13)$$

Suprafața corpului uman S_{Du} se calculează cu relația lui [Du Bois, 1916]:

$$S_{Du} = 0,202 \cdot G^{0,425} \cdot H^{0,725}; \quad [m^2] \quad (2.14)$$

unde:

S_{Du} – suprafața corpului uman DuBois, $[m^2]$;

G – greutatea corpului, $[kg]$;

H – înălțimea corpului, $[m]$.

Alte modele de calcul al suprafeței corpului uman au mai fost date și de către alții, un centralizator cu aceste relații de calcul, sunt prezentate în tabelul 2.10. Suprafața corpului uman se calculează cu preponderent atât la femei cât și la bărbați cu aceeași relație, doar Schlich a dezvoltat două relații de calcul diferențiate în funcție de sex [Wikipedia, 2009].

Tabel 2.10. Diferite relații de calcul a suprafeței corpului uman [Wikipedia, 2009]

Relația de calcul:	
Mosteller	$S_M = \sqrt{H \cdot G / 3600}; \quad [m^2]$
Haycock	$S_H = 0,024265 \cdot G^{0,5378} \cdot H^{0,3964}; \quad [m^2]$
Gehan și George	$S_{GG} = 0,0235 \cdot G^{0,51456} \cdot H^{0,42246}; \quad [m^2]$
Boyd	$S_B = 0,0003207 \cdot G^{0,7285 - 0,0188 \cdot \log(G[\text{grame}])} \cdot H^{0,3}; \quad [m^2]$
Fujimoto	$S_F = 0,008883 \cdot G^{0,444} \cdot H^{0,663}; \quad [m^2]$
Takahira	$S_T = 0,007241 \cdot G^{0,425} \cdot H^{0,725}; \quad [m^2]$
Sclich (pentru femei)	$S_{Sf} = 0,000975482 \cdot G^{0,46} \cdot H^{1,08}; \quad [m^2]$
Sclich (pentru bărbați)	$S_{Sb} = 0,000579479 \cdot G^{0,38} \cdot H^{1,24}; \quad [m^2]$

Pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii (Q_E) are trei componente:

Q_{dif} – pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele, $[W]$;

Q_{evp} – pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, $[W]$;

Q_{r1} – pierderea de căldură latentă prin respirație, $[W]$;

Aceste componente pot fi exprimate în următorul mod:

$$Q_{r1} = 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_i); \quad [W] \quad (2.15)$$

unde:

5,87 kPa – presiunea vaporilor de saturație la temperatura de 35°C;

P_i – presiunea vaporilor din aerul interior $[kPa]$.

Pierderea de căldură sensibilă (perceptibilă) este exprimată ca fiind:

$$Q_{rs} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_i); \quad [W] \quad (2.16)$$

unde:

34°C – temperatura aerului expirat;

t_i – temperatura aerului interior, $[°C]$.

Cele două cantități exprimate în relația (2.15) respectiv (2.16), nu ajung la

suprafața pielii, într-adevăr căldura care ajunge la suprafața pielii este:

$$Q_{pi} = M \cdot (1 - \eta) - 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_i) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_i); \quad [W] \quad (2.17)$$

unde:

Q_{pi} – căldura metabolică regăsită la nivelul pielii, [W].

Pierderea de căldură maximă prin evaporare, de la suprafața corpului este:

$$Q_{E \max} = 16,7 \cdot h_c \cdot (p_s - p_i) \cdot F_{pcl} \quad [W] \quad (2.18)$$

unde:

16,7 – relația Lewis, în °C /kPa, reprezintă raportul între coeficientul de transfer termic convectiv și coeficientul de pierderi de căldură prin evaporare (h_e [W/m²kPa]/ h_c [W/m²°C]) la nivelul mării;

h_c – coeficient de transfer termic convectiv între corp și mediul ambiant, [W/m²°C];

p_s – presiunea de saturație a vaporilor la temperatura medie a pielii, [kPa];

p_i – presiunea vaporilor din aerul interior, [kPa];

F_{pcl} – factor ce ține cont de eficiența penetrării vaporilor de pe piele prin îmbrăcăminte:

$$F_{pcl} = \frac{1}{1 + 0,344 \cdot h_c \cdot l_{cl}}; \quad (2.19)$$

unde:

l_{cl} – rezistența termică medie pentru îmbrăcăminte [m²°C /W] sau [clo].

Atunci pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii este dată de relația:

$$Q_{evp} = F_{PT} \cdot Q_{E \max}; \quad [W] \quad (2.20)$$

unde:

F_{PT} – este raportul între suprafața corpului acoperită de o peliculă de transpirație (S_{PT}) și suprafața corpului uman după relația lui DuBois (S_{DU}).

$$F_{PT} = \frac{S_{PT}}{S_{DU}} \quad (2.21)$$

Pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele la nivelul suprafeței acoperite de îmbrăcăminte este:

$$Q_{dif} = (1 - F_{PT}) \cdot 0,06 \cdot Q_{E \max}; \quad [W] \quad (2.22)$$

dar în absența reglării transpirației ($Q_{evp}=0$), pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele la nivelul suprafeței acoperite de îmbrăcăminte devine:

$$Q_{dif} = 0,06 \cdot Q_{E \max}; \quad [W] \quad (2.23)$$

În general pentru subiecți aflați în repaus la o temperatură a termometrului uscat mai mică de 20°C și cu o umiditate cuprinsă în intervalul 40%-60%, pierderea de căldură latentă prin respirație și pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele este aproximativ 20-25% din rata metabolică.

Pierderea de căldură totală prin evaporare la nivelul pielii, adăugând cei doi termeni de mai sus, este:

$$Q_p = Q_{dif} + Q_{evp} = (0.06 + 0.94 \cdot F_{PT}) \cdot Q_{E_{max}}; \quad [W] \quad (2.24)$$

sau înlocuind $Q_{E_{max}}$, cu ecuația 2.18, rezultă:

$$Q_p = 16,7(0.06 + 0.94 \cdot F_{PT}) \cdot h_c \cdot (p_s - p_i) \cdot F_{pcl}; \quad [W] \quad (2.25)$$

Raportul $Q_p/Q_{E_{max}}$ este t , valoarea medie a transpirației pielii. Când Q_p este dată ca și pierderi de căldură prin evaporare necesară pentru a menține un echilibru termic al corpului atunci raportul $(Q_p/Q_{E_{max}}) \cdot 100$ va fi utilizat ca și un index al stresului termic [Belding, 1955], [Belding, 1956].

Pierderea de căldură sensibilă de la suprafața corpului uman este dată de relația:

$$Q_R + Q_{CV} = h \cdot (t_p - t_i) \cdot F_{cl}; \quad [W] \quad (2.26)$$

unde:

h – coeficient de transfer termic convectiv și radiant, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$;

t_p – temperatura la nivelul pielii, $[^\circ C]$;

t_i – temperatura aerului interior, $[^\circ C]$.

F_{cl} – factor de îmbrăcăminte, prezentat în ecuația (2.19):

Reprezentarea schematică a celor prezentate în acest subcapitol sunt redată în figura 2.12:

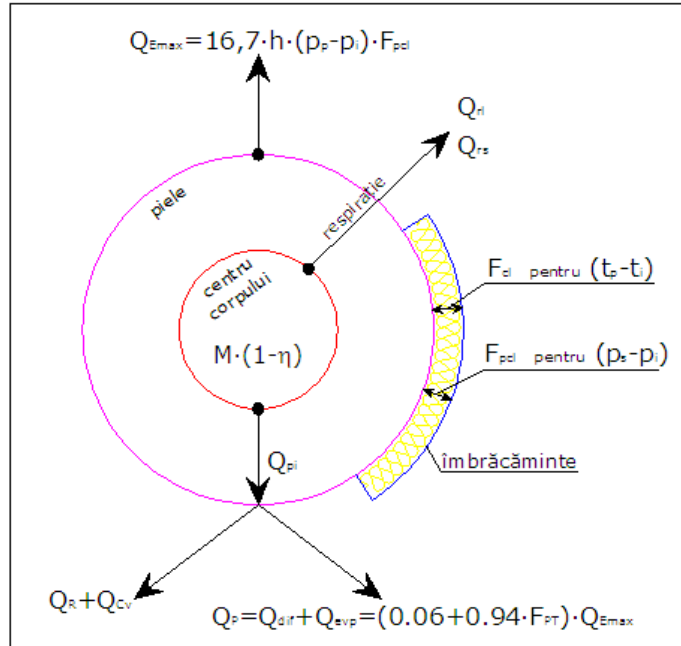


Figura 2.12. Reprezentare schematică a „Modelului celor două noduri” [Auliciems, 2007]

Pe baza figurii de mai sus se poate observa că o parte din căldura netă metabolică generată în centrul corpului $M(1-\eta)$ este transmisă către mediul ambiental prin respirație, o parte ca și căldură sensibilă (Q_{rs}) și o parte prin evaporare (Q_{rl}). Diferența de căldură este transportată către piele (Q_{pi}). Aceasta este disipată către mediul înconjurător ca și căldură sensibilă prin radiație și convecție ($Q_R + Q_{CV}$) și căldură latentă prin evaporare (Q_p). Căldura maximă disipată către mediu (Q_{Emax}) depinde de tipul îmbrăcămînții.

În concluzie, înlocuind ecuațiile (2.16), (2.24) și (2.25) în ecuația (2.8), ecuația completă a bilanțului termic poate fi scrisă:

$$\begin{aligned} \Delta S = M \cdot [(1-\eta) - 0.0173 \cdot (5.87 - p_i) - 0.0014 \cdot (34 - t_i)] - \\ - 16,7(0.06 + 0.94 \cdot F_{PT}) \cdot h_c \cdot (p_s - p_i) \cdot F_{pcl} - h \cdot (t_p - t_i) \cdot F_{cl}; \quad [W] \end{aligned} \quad (2.27)$$

2.3.1.2. Modelul Fanger – ecuația bilanțului termic (de confort)

Cel mai utilizat model de estimare cantitativă a confortului termic a fost sugerat de către profesorul Ole Fanger încă din 1970, utilizând absolut unități în sistemul metric, care și în prezent este ilustrat ca și model al lui. Deși autorul se referă la aceasta ca și ecuația de confort, de fapt este ecuația balanței termice, aranjată astfel încât căldura înmagazinată să fie zero [Fanger, 1982].

El a utilizat termenul Q_H , adică căldura net produsă de corp pentru $M(1-\eta)$. S-a considerat că confortului termic se realizează când căldura înmagazinată (ΔS) are valoarea zero și pierderea de căldură prin conducție (Q_{cd}) este nesemnificativă. Pentru aceste condiții de echilibru ecuația (2.8), se poate scrie:

$$Q_H - Q_R - Q_{CV} - Q_E = 0; \quad [W] \quad (2.28)$$

unde:

Q_H - căldură net produsă prin metabolism, [W];

Q_R - schimbul de căldură prin radiație, [W];

Q_{CV} - schimbul de căldură prin convecție, [W];

Q_E - pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W].

sau

$$Q_H - Q_{dif} - Q_{evp} - Q_{rl} - Q_{cres} = Q_{cl} = Q_R + Q_{CV}; \quad [W] \quad (2.29)$$

unde:

Q_{dif} - pierderea de căldură prin difuzia vaporilor prin piele, [W];

Q_{evp} - pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii, [W];

Q_{rl} - pierderea de căldură latentă prin respirație, [W];

Q_{cres} - pierderea de căldură prin convecție respiratorie, [W];

Q_{cl} - schimb de căldură de la piele la suprafața îmbrăcămînții, [W].

Din relația (2.29) se poate observa cu ușurință că evaporarea transpirației este mecanismul propriu principal de ajustare termică a corpului uman. Într-adevăr, în demersul său de a găsi mijloace de predicție a situațiilor pentru care se poate ajunge la senzația de confort termic, Fanger a investigat procesele fiziologice ale corpului și a determinat că doar rata de transpirație și temperatura medie a pielii influențează bilanțul de căldură, ambele fiind o funcție a nivelului de activitate.

Privit în mod global, organismul uman este homeoterm, adică sistemul său termoregulator poate menține o temperatură internă stabilă (constantă), fără ca aceasta să fie influențată de variația parametrilor mediului său înconjurător, în anumite limite de supraviețuire. Această temperatură este de obicei mai mare decât cea a mediului înconjurător. Analizând corpul uman la nivel intern, de fapt acesta prezintă o parte heterotermă (cu temperatura variabilă în anumite limite) care presupune extremitățile și o parte homeotermă compusă din organele cu un metabolism ridicat și cu o temperatură constantă - organele interne, capul etc .

Reglarea termică a corpului necesită ca hipotalamusul să fie încontinuu informat despre variația condițiilor exterioare. Acest lucru este posibil cu ajutorul termoreceptorilor localizați în piele, în anumite organe interne și în sistemul nervos central [Mănescu, 1985].

Pentru calculul aproximativ al fiecărui termen din ecuația (2.29) se pot utiliza următoarele relații:

$$Q_{dif} = \lambda_v \cdot m \cdot S_{Du} \cdot (p_s - p_i); \quad [W] \quad (2.30)$$

unde:

λ_v - căldura latentă de vaporizare a apei, (2407,52 kJ/kg);

m - permeabilitatea pielii, ($6,1 \cdot 10^{-4}$ kg/hm²mmHg);

S_{Du} - suprafața corpului uman DuBois, [m²];

P_s - presiunea de saturație a vaporilor la temperatura medie a pielii, [mmHg];

$$p_s = 1,92 \cdot t_s - 25,3; \quad [mmHg] \quad (2.31)$$

P_i - presiunea vaporilor din aerul interior, [mmHg].

Înlocuind valorile numerice corespunzătoare relația (2.30) devine:

$$Q_{dif} = 0,35 \cdot S_{Du} \cdot (1,92 \cdot t_s - 25,3 - p_i); \quad [W] \quad (2.32)$$

Astfel a fost demonstrat că temperatura pielii pentru condiții de confort este:

$$t_s = 35,7 - 0,032 \cdot \frac{Q_H}{S_{Du}}; \quad [^{\circ}C] \quad (2.33)$$

substituind, rezultă:

$$Q_{dif} = 0,35 \cdot S_{Du} \cdot \left[43 - 0,06 \cdot \left(\frac{Q_H}{S_{Du}} \right) (1 - \eta) - p_i \right]; \quad [W] \quad (2.34)$$

Pentru condițiile de confort pierderea de căldură prin evaporare la suprafața pielii Q_{evp} trebuie să fie în limite foarte înguste și are să demonstreze pentru situații medii:

$$Q_{evp} = 0,42 \cdot S_{Du} \cdot \left(\frac{Q_H}{S_{Du}} - 58,2 \right); \quad [W] \quad (2.35)$$

Pierderea de căldură latentă prin respirație este dată sub forma:

$$Q_{rl} = D \cdot (\varphi_{ex} - \varphi_{in}) \cdot \lambda_v; \quad [W] \quad (2.36)$$

unde:

D – rata de ventilare pulmonară, [kg/h];

φ_{ex} – umiditatea aerului expirat de om, [g/kg];

φ_{in} – umiditatea aerului inspirat de om, [g/kg];

λ_v – căldura latentă de vaporizare a apei, (2407,52 kJ/kg).

Substituind umiditatea și presiunea vaporilor rezultă:

$$Q_{rl} = 0,0023 \cdot Q_M \cdot (44 - p_i); \quad [W] \quad (2.37)$$

Pierderea de căldură prin convecție respiratorie este dată sub forma:

$$Q_{Cres} = 0,0014 \cdot Q_M \cdot [34 - t_i]; \quad [W] \quad (2.38)$$

Atunci când acești termeni se scad din căldura netă produsă de om (Q_H), diferența trebuie să fie disipată prin conducție prin îmbrăcăminte (Q_{cl}) și, ulterior, prin radiație și convecție ($Q_R + Q_{Cv}$) de pe suprafața îmbrăcămînții către mediul înconjurător.

Schimbul de căldură de la nivelul pielii la suprafața îmbrăcămînții este dat în relația:

$$Q_{cl} = S_{Du} \cdot (t_p - t_{cl}) / 0,18 \cdot I_{cl}; \quad [W] \quad (2.39)$$

unde:

t_p – temperatura la nivelul pielii, [°C];

t_{cl} – temperatura la suprafața îmbrăcămînții, [°C];

I_{cl} – rezistența termică medie pentru îmbrăcăminte [$m^2 \cdot ^\circ C/W$] sau [clo].

Substituind expresia de mai sus pentru temperatura pielii, căldura de la nivelul pielii la suprafața îmbrăcămînții rezultă sub forma:

$$Q_{cl} = S_{Du} \cdot \left(35,7 - 0,032 \cdot \frac{Q_H}{S_{Du}} - t_{cl} \right) / 0,18 \cdot I_{cl}; \quad [W] \quad (2.40)$$

Schimbul de căldură prin radiație se exprimă ca fiind:

$$Q_R = S_{ef} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right]; \quad [W] \quad (2.41)$$

unde:

S_{ef} – suprafața efectivă de schimb radiant a corpului, [m^2];

ε – emisivitatea de la suprafața exterioară a îmbrăcămînții, ($0 < \varepsilon < 1$);

σ – constanta Stefan-Boltzmann, ($\sigma = 5,65 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C^4$);

t_{cl} – temperatura la suprafața exterioară a îmbrăcămînții [°C];

t_r – temperatura medie radiantă [°C];

După substituirea valorilor numerice corespunzătoare vom obține:

$$Q_R = 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot S_{Du} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right]; \quad [W] \quad (2.42)$$

unde:

f_{cl} – raportul între suprafața corpului îmbrăcat și suprafața corpului dezbrăcat.

Schimbul de căldură prin convecție se exprimă ca fiind:

$$Q_C = S_{Du} \cdot f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_i); \quad [W] \quad (2.43)$$

unde:

h_c – coeficient de transfer termic convectiv între corp și mediul ambiant, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$

și depinde de viteza aerului v_a . Criteriul (*crit*) este $1,762 \cdot (t_{cl} - t_i)^{0,25}$:

$$\text{Dacă } crit > 8,9 \cdot \sqrt{v_a} \text{ atunci } h_c = crit$$

$$\text{Dacă } crit < 8,9 \cdot \sqrt{v_a} \text{ atunci } h_c = 8,9 \cdot \sqrt{v_a}$$

f_{cl} – raportul între suprafața corpului îmbrăcat și suprafața corpului dezbrăcat.

t_{cl} – temperatura la suprafața exterioară a îmbrăcăminții $[^\circ C]$.

Substituind ecuațiile de mai sus (2.34), (2.35), (2.37) și (2.38) în „ecuația dublă” (2.29) și înlocuind pe Q_H sub forma $M(1-\eta)$ în ecuațiile (2.40), (2.42) respectiv (2.43), ecuația confortului termic devine:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{S_{Du}} \cdot (1-\eta) - 0,35 \cdot \left[43 - 0,061 \cdot \frac{M}{S_{Du}} \cdot (1-\eta) - p_i \right] - 0,42 \cdot \left[\frac{M}{S_{Du}} \cdot (1-\eta) - 58,2 \right] - \\ & - 0,0023 \cdot \frac{M}{S_{Du}} \cdot (44 - p_i) - 0,0014 \cdot \frac{M}{S_{Du}} \cdot (34 - t_i) = \\ & = \frac{35,7 - 0,032 \cdot \frac{M}{S_{Du}} \cdot (1-\eta) - t_{cl}}{0,18 \cdot I_{cl}} = \\ & = 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 + (t_r + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_i) \end{aligned} \quad (2.44)$$

Această relație a stat la baza ecuației de calcul al indicelui de confort PMV [Fanger, 2002].

Degajările de căldură pentru o persoană în poziție așezată, realizând o activitate fizică ușoară, îmbrăcat normal într-o ambianță plăcută sunt redate în tabelul 2.11. - [Manualul de Instalații, 2010].

Tabel 2.11. Degajări de căldură și vapori de apă ale organismului uman ($\varphi=50\%$)

Temperatura aerului $[^\circ C]$	Căldura sensibilă $[W]$	Căldura latentă $[W]$	Căldura totală $[W]$	Vapori de apă $[g/h]$
10	136	21	157	30
12	126	21	147	30
14	115	21	136	30
16	106	21	127	30
18	98	23	121	33
20	92	27	119	38
22	85	33	118	47
24	77	41	118	58
26	69	49	118	70
28	58	59	117	85
30	47	69	116	98
32	33	81	114	116

2.4. Estimarea confortului termic – Indicii PMV și PPD

Intensitatea senzațiilor cald-frig este influențată și de caracteristici personale ale oamenilor (sensibilitate față de diferențe de temperatură) precum și de schimbări ale metabolismului în limite normale (stare de repaos sau activitate) sau anormale (patologice sau datorate unor stimulenți - medicamente, alcool) precum și de condiționări psihologice.

Senzația cald-frig este subiectivă, pe bază experimentală-statistică s-au determinat limitele considerate normale, care fixează condițiile confortului termic.

Cel mai folosit model de estimare cantitativă a confortului termic a fost sugerat de către O. Fanger [Fanger, 1981]. El a realizat un studiu în care subiecți îmbrăcați cu haine "standardizate" și care depuneau o activitate "standardizată" erau expuși la diverse condiții termice. În concordanță cu ceea ce resimțeau, subiecții evaluau această stare utilizând scala ASHRAE [ASHRAE 55, 2004] cu șapte valori, conform tabel 2.12. În alte studii subiecților li s-a cerut să își ajusteze hainele, temperatura ambiantă etc. pentru a obține starea termică neutră.

Tabel 2.12. Cele 7 puncte pe scara senzației termice [ASHRAE 55, 2004]

Nr	Item	Explicație
1.	+3	Cald
2.	+2	Călduț
3.	+1	Puțin cald
4.	0	Neutru
5.	-1	Puțin rece
6.	-2	Rece
7.	-3	Răcoros

Senzația termică previzibilă a corpului în ansamblu se evaluează prin indicele PMV (opțiunea medie previzibilă). Gradul de disconfort se evaluează prin indicele PPD (procentaj previzibil de insatisfacție termică).

Indicele PMV este bazat pe bilanțul termic al corpului uman, omul fiind în echilibru termic atunci când producția internă de căldură în corp este egală cu pierderea de căldură din ambianță.

Indicele PMV [ASHRAE 55, 2004], [SR EN ISO 7730, 2006] este dat prin ecuația:

$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - \\ - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - \\ - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_i) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - \\ - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_i) \end{array} \right\} \quad (2.45)$$

unde:

M – rata căldurii metabolice, $[W/m^2]$;

W – lucrul mecanic exterior, $[W/m^2]$ egal cu zero pentru majoritatea cazurilor;

I_{cl} – rezistența termică medie pentru îmbrăcăminte, $[m^2 \cdot C/W]$;

f_{cl} – raportul între suprafața corpului îmbrăcat și suprafața corpului dezbrăcat;

t_i – temperatura aerului interior, $[^\circ C]$;

t_r – temperatura medie de radiație, $[^\circ C]$;

v_a – viteza aerului, $[m/s]$;

v_r – viteza relativă a aerului (în raport cu corpul uman) [Butera, 1998], $[m/s]$;

p_a – presiunea parțială de vapori de apă, $[kPa]$;

h_c – coeficientul de transfer termic prin convecție, $[W/m^2 \cdot C]$;

t_{cl} – temperatura la suprafața îmbrăcăminții, $[^\circ C]$.

Din relația de mai sus, presiunea parțială de vapori de apă este:

$$p_a = \varphi_i \cdot 10^\beta \quad (2.46)$$

unde:

$$\beta = \left\{ \begin{array}{l} 10,79 \cdot \left(\frac{t_i + 273}{2 \cdot t_i + 273} \right) - 5,02 \cdot \left(\frac{2 \cdot t_i + 273}{t_i + 273} \right) + \frac{1,50}{10^4} \cdot \left[1 - 10^{-8,29 \cdot \left(\frac{2 \cdot t_i + 273}{t_i + 273} - 1 \right)} \right] + \\ + \frac{0,42}{10^3} \cdot \left[10^{4,27 \cdot \left(\frac{t_i + 273}{2 \cdot t_i + 273} \right) - 1} \right] + 0,78 \end{array} \right\} \quad (2.47)$$

Temperatura la suprafața îmbrăcăminții t_{cl} și coeficientul de transfer termic prin convecție h_c , se determină prin iterație, cu relațiile următoare:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(T_{cl})^4 - (T_r)^4 \right] \\ + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_i) \end{array} \right\} \quad (2.48)$$

unde: $T_{cl} = t_{cl} + 273$; iar $T_r = t_r + 273$

$$h_c = \left\{ \begin{array}{l} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_i|^{0,25} \quad \text{pentru } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_i|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_r} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_r} \quad \text{pentru } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_i|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_r} \end{array} \right. \quad (2.49)$$

unde: $v_r = v_a + 0,005 \cdot \left(\frac{M}{S_{Du}} - 58,15 \right) \quad [m/s]$

Raportul dintre suprafața corpului îmbrăcat și cea a corpului nud este calculat cu una din relațiile următoare:

$$f_{cl} = \left\{ \begin{array}{l} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \quad \text{pentru } I_{cl} \leq 0,078 \quad [m^2 \cdot C / W] \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \quad \text{pentru } I_{cl} > 0,078 \quad [m^2 \cdot C / W] \end{array} \right. \quad (2.50)$$

Este recomandat ca indicele PMV să se determine numai pentru valori cuprinse în intervalul -2 și +2, iar cei șase parametri principali care intră în ecuația indicelui PMV să aibe valori cuprinse în intervalele următoare [ASHRAE 55, 2004]:

- ✓ $M=46 \div 232[\text{W}/\text{m}^2]$;
- ✓ $I_{cl}=0 \div 0,310[\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}]$;
- ✓ $t_i=10 \div 30[^\circ\text{C}]$;
- ✓ $t_r=10 \div 40[^\circ\text{C}]$;
- ✓ $v_r=0 \div 1[\text{m}/\text{s}]$.

Indicele PPD (procentaj previzibil de insatisfacție) este valoarea medie a opțiunilor date de un grup important de persoane expuse aceleiași ambianțe, dar opțiunile individuale sunt dispersate în jurul unei valori medii și poate fi utilă în prevederea numărului de persoane susceptibile de a fi deranjate de căldură sau frig. Indicele PPD stabilește o prevedere cantitativă a numărului de persoane nemulțumite. De asemenea, PPD prevede pentru un grup important de persoane procentajul celor susceptibile de a le fi prea cald sau prea frig.

Relația dintre cei doi indici PPD și PMV este arătată în figura 2.13. Un indice PPD care are valoarea de 10% corespunde unui indice PMV de nivel $\pm 0,5$. În cazul unui studiu în care senzația de confort este neutră, când valoarea indicelui PMV este egală cu 0, există un număr de 5% din populația supusă acestui studiu a fi nemulțumită.

Valoarea indicelui PPD se poate determina pe baza graficului din figura 2.13 sau cu relația [ASHRAE 55, 2004]:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-\left(0,3353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2\right)} \quad (2.51)$$

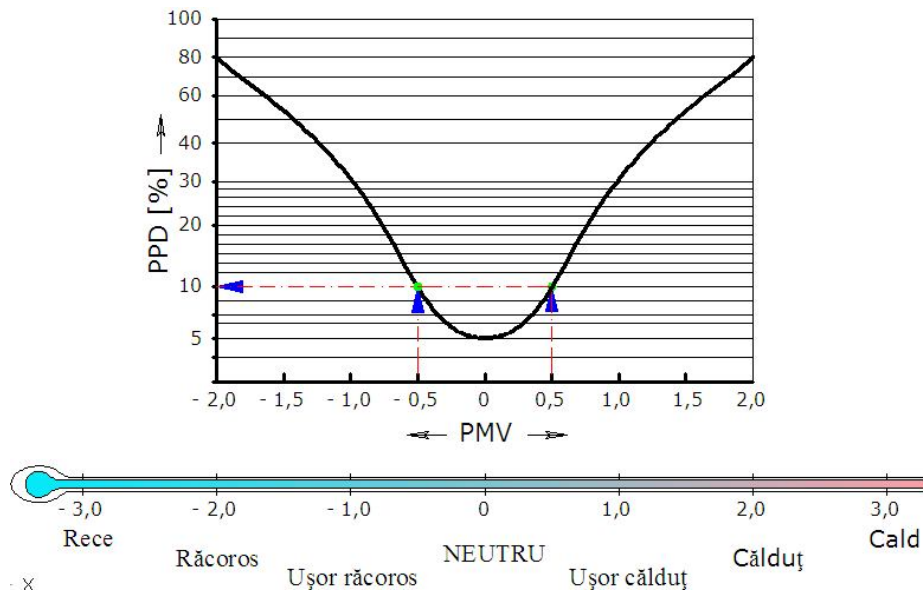


Figura 2.13. Procentul previzibil de nemulțumiți (PPD) în funcție de votul mediu previzibil (PMV)

În figura 2.14, conform lui van Hoof (2008), se prezintă diferitele corelații între indicele PMV și PPD. Aceste corelații sunt realizate pe baza studiilor făcute de Fanger, Araújo, Yoon, Mayer și de Paula Xavier, studii realizate în perioada 1970-2000 [Hensen, 2011].

Se observă în figura de mai sus că corelația indicilor PPD respectiv PMV realizată de Fanger pentru un indice PMV = 0, indică un procent de 5% dintre persoane ca fiind nesatisfăcuți din punct de vedere al senzației termice. În schimb, studiile realizate de Mayer(1997) au arătat că poziția lui PMV s-a deplasat cu 0,4 de la experimentele inițiale, rezultând un procent de persoane nemulțumite PPD de 16%.

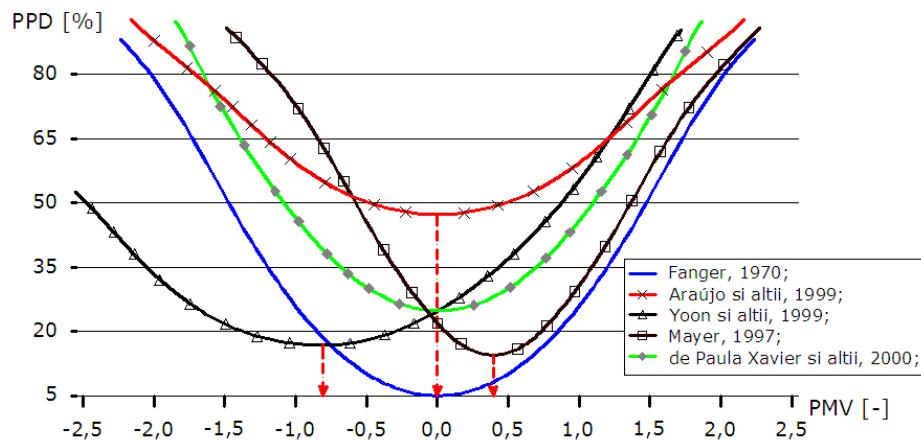


Figura 2.14. Diferite relații între PMV și PPD

Diferite corelații între indicii PMV și PPD au fost studiate și de către Araújo (1999), de Paula Xavier și Robert(2000) și Yoon(1999), rezultând curbe diferite ale lui PPD în funcție de PMV.

2.5. Parametri derivați ai confortului termic

Parametri derivați sunt folosiți pentru a defini direct un indicator empiric de confort fără a folosi o metodă de calcul bazată pe stabilirea bilanțului termic rezultat și a efortului fiziologic. Aceștia caracterizează o serie de factori principali ai mediului ambiental, ponderați în funcție de caracteristicile senzorilor utilizați. Modul de aplicare și cerințele de măsurare ale acestor parametri derivați sunt detaliate în standarde specifice.

Parametri derivați cel mai des utilizați sunt:

- temperatura efectivă;
- temperatura operativă umedă;
- indicele de stres termic;
- temperatura rezultantă;
- temperatura echivalentă;
- indicele de confort termic (B);
- indicele UCRES.

2.5.1 Temperatura efectivă (ET*)

Temperatura efectivă este o temperatură care combină într-un singur factor efectele temperaturii bulbului umed și umidității aerului, cu același efect de confort termic. Este definită ca o temperatură a mediului care la o umiditate de 50%, rezultă aceleași pierderi totale de pe suprafața pielii ca și pierderile din mediul actual.

Această temperatură a fost definită empiric pentru prima dată de Houghton și Yaglou [Houghton, 1923], [Houghton, 1923a] și Gagge [Gagge, 1971] care i-au dat o definiție matematică prin ecuația următoare:

$$ET^* = t_o + \varphi_p \cdot i_m \cdot \frac{h_e}{h_c} \cdot (p_a - 0,5 \cdot p_{ET^*,s}); \quad [^{\circ}C] \quad (2.52)$$

unde:

t_o - temperatura operativă; definită ca medie între temperatura medie de radiație și temperatura aerului interior, raportată la coeficienții lor de transfer termic (h_r și h_c)

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_i}{h_r + h_c}; \quad [^{\circ}C] \quad (2.53)$$

φ_p - umiditatea pielii, adimensional;

i_m - indice de permeabilitate la vapori, luând valori de la 0 (pentru un sistem fără transfer de evaporare) până la 1 (pentru un sistem al cărui transfer de căldură prin evaporare nu are o impedanță mai mare decât un termometru uzual cu bulb umed);

h_r - coeficientul de transfer termic prin radiație, [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$];

h_e - coeficientul de transfer termic prin evaporare, [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$];

h_c - coeficientul de transfer termic prin convecție, [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$];

p_a - presiunea parțială a vaporilor la temperatura ambiantă, [kPa];

$p_{ET^*,s}$ - presiunea de saturație a vaporilor, la temperatura efectivă, [kPa].

Deoarece acest termen ET^* este definit ca și temperatură operativă t_o , el combină efectul a trei parametri (t_r , t_i și p_a) într-un singur indice. Umiditatea pielii φ_p și indicele de permeabilitate i_m trebuie precizate, deoarece sunt mărimi constante pentru o anumită temperatură efectivă (ET^*). Dreapta constantei ET^* depinde de umiditatea pielii și permeabilitatea la vapori a îmbrăcămînții și de activitatea depusă.

Rydberg și Norbach au propus o relație pentru temperatura efectivă a aerului în mișcare bazată pe influența temperaturii și vitezei aerului asupra confortului termic. Relația este dată de forma:

$$ET^* = t_i - 7,66 \cdot (v_a - 0,15); \quad [^{\circ}C] \quad (2.54)$$

unde:

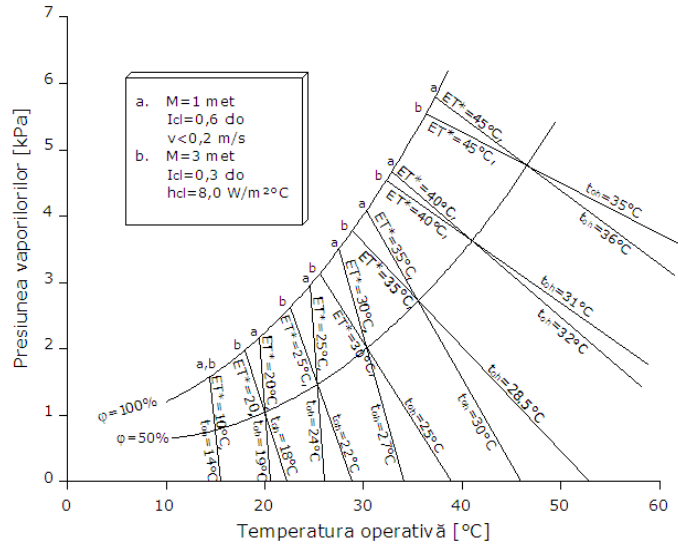
t_i - temperatura aerului interior, [$^{\circ}C$];

v_a - viteza aerului, [m/s];

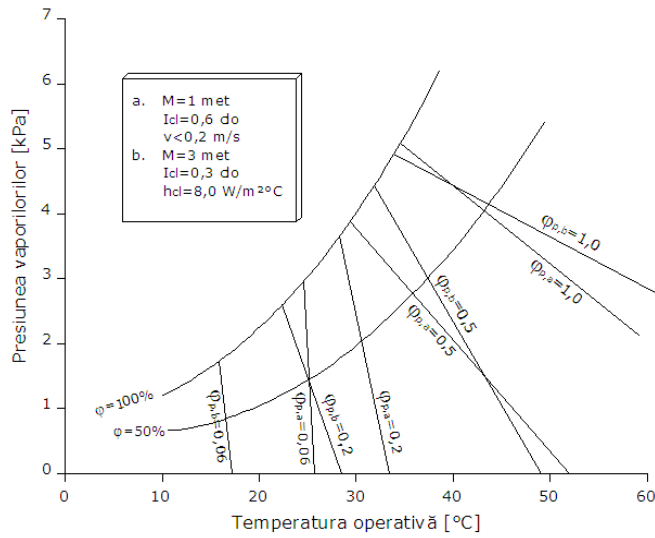
Conform normelor [ASHRAE 55, 2004], zonele de confort și ET^* sunt detaliate în figura 2.15.

Deoarece temperatura efectivă (ET^*) depinde de îmbrăcăminte și activitate este imposibil de a realiza o diagramă generalizată. Se definește temperatura standard efectivă (SET) folosind un set de condiții reprezentative pentru mediul interior. Aceste condiții sunt: îmbrăcăminte = 0,6 clo; activitatea umană = 1,0

met; viteza aerului < 0,2 m/s și temperatura medie de radiație = temperatura bulbului umed (°C).



a) Influența asupra temperaturii efective, ET^* și temperatura operativă umedă, t_{oh}



b) Influența asupra umidității pielii, φ_p

Figura 2.15. Temperatura efectivă (ET^*) și umiditatea pielii (φ_p)

La o anumită valoare a temperaturii efective (ET^*) se consideră că indicele de permeabilitate i_m și umiditatea pielii φ_p au valoare constantă. Din figura 2.15, b),

se consideră că umiditatea pielii are zonele de reglare termică a organismului uman prin evaporare cuprinse între $\varphi_p=0,06$ și $\varphi_p=1,0$. Aceste valori se ating atunci când corpul se află în afara zonei de reglare termică prin evaporare.

Deoarece panta dreptei de temperatură efectivă (ET^*) constantă depinde de umiditatea pielii și permeabilitatea la vapori a îmbrăcăminții, temperatura efectivă pentru o temperatură dată și o anumită umiditate pot să depindă de îmbrăcămintea și activitatea persoanelor.

La o umiditate a pielii scăzută, umiditatea aerului are o influență mică și liniile de temperatură efectivă constante sunt aproape verticale. La fel cum umiditatea pielii crește cu umiditatea și / sau stresul termic, liniile de temperatură efectivă constantă devin mai orizontale și influența umidității este mult mai pronunțată.

Dacă un curent de aer are o temperatură efectivă constantă, el produce aceeași senzație de confort termic ca și aerul saturat de aceeași temperatură, cu o viteză a aerului $< 0,15$ m/s.

Pentru viteze mici ale curenților de aer ($v_i < 0,15$ m/s) temperatura efectivă se calculează cu relația [McIntyre, 1980]:

$$ET^* = 0,492 \cdot t_i + 0,19 \cdot p_a + 6,47; \quad [^{\circ}C] \quad (2.55)$$

unde:

t_i - temperatura aerului interior, [$^{\circ}C$];

p_a - presiunea parțială a vaporilor la temperatura ambiantă, [kPa];

2.5.2 Temperatura operativă umedă (t_{oh})

Temperatura operativă umedă [Bancea, 1997] este temperatura unui mediu uniform (considerat o incintă imaginară neagră) cu o umiditate relativă $\varphi=100\%$ în care un obiect umed sau o persoană poate ceda același schimb total de căldură prin radiație, convecție și evaporare, ca într-un mediu ambiantal real.

Acest indicator este definit matematic prin ecuația:

$$t_{oh} = t_o + \varphi_p \cdot i_m \cdot \frac{h_e}{h_c} \cdot (p_a - p_{s,oh}); \quad [^{\circ}C] \quad (2.56)$$

unde:

t_{oh} – temperatura operativă umedă, [$^{\circ}C$];

t_o - temperatura operativă, [$^{\circ}C$];

φ_p - umiditatea pielii, adimensional;

i_m - indice de permeabilitate la vapori;

h_e - coeficientul de transfer termic prin evaporare, [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$];

h_c - coeficientul de transfer termic prin convecție, [$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$];

p_a - presiunea parțială a vaporilor la temperatura ambiantă, [kPa];

$p_{s,oh}$ - presiunea de saturație a vaporilor la temperatura t_{oh} , [kPa].

Definirea temperaturii operative umede t_{oh} , se face aproximativ la fel ca și temperatura efectivă (ET^*), singura diferență fiind faptul că umiditatea relativă $\varphi=100\%$. În figura 2.15 se poate observa că pentru același mediu și condiții, dreptele pentru constantele de temperatură efectivă (ET^*) sunt și dreptele pentru valori constante ale temperaturii operative umede t_{oh} . Valorile ET^* și cele ale lui t_{oh} , diferă pe aceeași pantă.

2.5.3 Indicele de stres termic (WBGT)

Indicele de stres termic, WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) [ISO 7243, 2003] este o temperatură complexă utilizată pentru a estima efectul temperaturii, vitezei aerului, umidității aerului cât și al radiațiilor solare asupra oamenilor. În anul 1989, indicele de stres termic, WBGT este standardizat pe plan internațional prin norma ISO-7243. WBGT este măsurat cu ajutorul unui dispozitiv simplu de trei elemente de temperatură:

- temperatura bulbului umed (t_{um}), măsurată cu un termometru al cărui bulb este înfășurat cu o pânză umedă. Este definită ca fiind temperatura de saturație adiabatică și izobară a aerului umed. Termometrul pentru măsurarea temperaturii bulbului umed la fel ca și termometrul globului negru nu este protejat de vânt sau de radiații. Acest termometru reprezintă efectul integrat al umidității, vitezei aerului și al temperaturii medii de radiație;

- temperatura globului negru (t_g), poate fi măsurată cu un termometru cu mercur, termorezistență sau termocuplu sferic amplasate în centrul unei sfere de diametru \varnothing 150mm acoperit cu vopsea neagră (globtermometru). Temperatura globului negru reprezintă efectele integrate ale radiației și vitezei aerului;

- temperatura aerului (t_i), măsurată cu un termometru al cărui bulb este protejat împotriva radiațiilor cu un ecran. Aceasta este în mod normal, temperatura standard cotată în observațiile meteorologice și previziuni.

Pe baza celor trei temperaturi corelate într-o medie ponderată se poate determina indicele WBGT utilizând următoarele relații:

a. pentru interior și exterior fără radiație solară:

$$WBGT = 0,7 \cdot t_w + 0,3 \cdot t_g; \quad [^{\circ}C] \quad (2.57)$$

b. pentru exterior cu radiație solară:

$$WBGT = 0,7 \cdot t_w + 0,2 \cdot t_g + 0,1 \cdot t_a; \quad [^{\circ}C] \quad (2.58)$$

unde:

t_w - temperatura după termometru umed, [$^{\circ}C$];

t_g - temperatura globului negru, [$^{\circ}C$];

t_a - temperatura aerului sub încărcare termică solară, [$^{\circ}C$].

Atunci când condițiile termice de la locul de muncă fluctuează se poate determina media ponderată în timp (TWA), utilizând indicele de stres termic WBGT, pentru a evalua expunerea la căldură.

$$TWA - WBGT = \frac{WBGT_1 \cdot t_1 + WBGT_2 \cdot t_2 + \dots + WBGT_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (2.59)$$

unde:

$WBGT_1, WBGT_2$ etc – indicele de stres termic WBGT măsurat sau calculat, [$^{\circ}C$];

t_1, t_2 etc – timpul scurs în condițiile corespunzătoare descrise de $WBGT_1, WBGT_2$ etc.

2.5.4 Temperatura rezultată (t_R)

Acest indice a fost descoperit de Missenard în Franța și reprezintă temperatura unui mediu uniform, cu aer liniștit în care temperatura aerului este

egală cu temperatura medie de radiație și care produce o senzație echivalentă ca și mediul existent. Această temperatură se bazează pe măsurători și teste realizate într-o cameră de testare, după 0,5h de corecție.

Temperatura rezultantă se bazează pe schimbul de căldură prin radiație și convecție între corpul uman și mediu, iar ecuația acestei temperaturi este:

$$t_R = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_i}{h_r + h_c} = \omega \cdot t_r + (1 - \omega) \cdot t_i; \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.60)$$

unde:

t_R – temperatura rezultantă, [$^{\circ}\text{C}$];

t_r – temperatura medie radiantă, [$^{\circ}\text{C}$];

t_i - temperatura aerului interior, [$^{\circ}\text{C}$];

h_r - coeficientul de transfer termic prin radiație, [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

h_c - coeficientul de transfer termic prin convecție, [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

ω - factor al umidității pielii, redat în relația:

$$\omega = \frac{h_r}{h_r + h_c} \quad (2.61)$$

Pentru perioada de iarnă, la o viteză a aerului $v_a=0,05$ m/s, un coeficient de convecție termică prin radiație $h_r= 3,4$ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ și un factor al umidității pielii $\omega \sim 0,55$, se poate scrie forma simplificată a relației:

$$t_R = 0,55 \cdot t_r + 0,45 \cdot t_i; \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.62)$$

În relația de mai sus se observă că în perioada de iarnă fenomenul de radiație este mai important decât fenomenul de convecție. Conform acestei relații, pentru asigurarea senzației de confort termic într-o încăpere, pe măsură ce scade temperatura suprafețelor limitatoare este necesară majorarea temperaturii aerului interior.

Pentru perioada de vară la o viteză a aerului $v_a=0,25$ m/s, un coeficient de convecție termică prin radiație $h_r= 6,0$ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ și $\omega =0,4$, când ventilația este mai puternică în interior, situația se inversează, adică fenomenul de convecție este mai important decât cel de radiație.

Este o ușoară îmbunătățire a diagramei ET, utilizată doar pentru condițiile de activitate ușoară sau de odihnă. Nomograma temperaturii rezultante este definită similar ca cea pentru temperatura efectivă. Poate fi utilizată pentru un climat moderat, dar nu pentru condiții tropicale unde este subestimat efectul de răcire datorat curenților de aer la temperatura peste 35°C și umiditate relativă peste 80%, când la valori scăzute ale temperaturii rezultante, efectul cauzat de curenții de aer este supraestimat.

Giovani [Giovani, 1969] a descoperit că temperatura rezultantă este agreată mai bine decât temperatura efectivă în cazul răspunsurilor fiziologice, de asemenea sub 30°C este o ușoară supraestimare a efectului umidității. Efectul răcirii datorită nivelului ridicat al curentului de aer este subestimat și supraestimat la un nivel scăzut al curentului de aer.

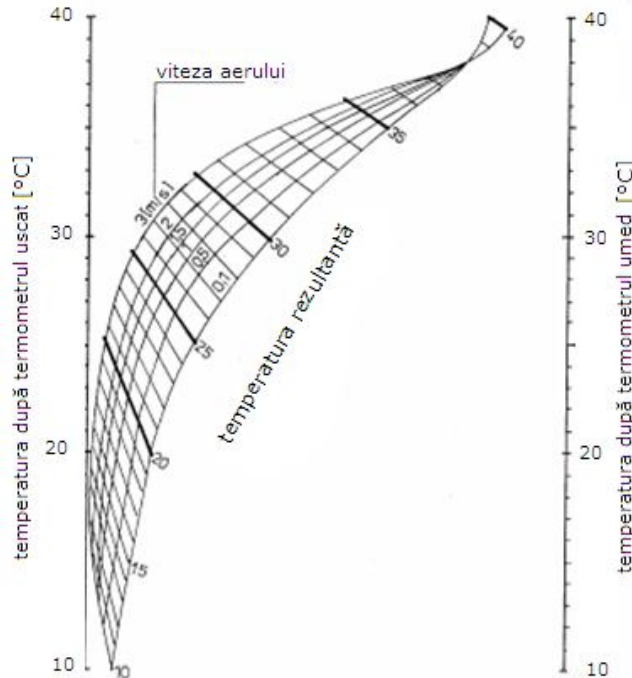


Figura 2.16. Determinarea temperaturii rezultante în funcție de temperatură după termometrul umed, termometrul uscat și viteza aerului [Missénard, 1959]

În figura 2.16 se poate determina temperatura rezultantă t_R dacă se cunoaște viteza de mișcare a aerului și temperatura după termometrul umed și uscat. De exemplu la o temperatură a bulbului uscat egală cu 35°C , temperatura bulbului umed egală cu 30°C și o viteză a aerului de 1m/s rezultă o temperatură rezultantă de 32°C .

2.5.5 Temperatura echivalentă (t_{echiv})

Această temperatură a fost introdusă de [Dufton, 1932] și utilizată de către [Bedford, 1951]. Aceasta definește ca fiind temperatura aerului într-o încălzire în care viteza aerului este 0 și temperatura interioară egală cu temperatura de radiație (la o valoare de 24°C) a unui cilindru negru cu înălțimea de 558 mm și diametrul de 190 mm pierde aceeași cantitate de căldură ca și în mediul ambiant în condiții echivalente. Suprafața cilindrului este menținută la o temperatură egală cu temperatura corpului uman prin înregistrarea și compensarea energiei consumate în timpul schimbului de căldură cu mediul.

Bedford a detaliat cele de mai sus prin formula:

$$t_{\text{echiv}} = 0,522 \cdot t_i + 0,478 \cdot t_r - 0,0147 \cdot \sqrt{v_a} \cdot (100 - t_i); \quad [^\circ\text{F}] \quad (2.63)$$

unde:

t_{echiv} – temperatura echivalentă, $[^\circ\text{F}]$;

t_i - temperatura aerului interior, [°F];
 t_r - temperatura medie radiantă, [°F];
 v_a - viteza aerului, [ft/min];
sau

$$t_{echiv} = 0,522 \cdot t_i + 0,478 \cdot t_g + \sqrt{v_a} \cdot (0,0808 \cdot t_g - 0,0661 \cdot t_i - 1,474); \quad [^{\circ}F] \quad (2.64)$$

unde:

t_g - temperatura globului negru, [°F];
sau în sistemul internațional relația de legătură între temperatura echivalentă și factorii de mediu este:

$$t_{echiv} = 0,522 \cdot t_i + 0,478 \cdot t_r - 0,205 \cdot \sqrt{v_a} \cdot (37,8 - t_i); \quad [^{\circ}C] \quad (2.65)$$

unde:

t_{echiv} - temperatura echivalentă, [°C];
 t_i - temperatura aerului interior, [°C];
 t_r - temperatura medie radiantă, [°C];
 v_a - viteza aerului, [m/s];

În urma măsurărilor Bedford a ajuns la concluzia că diferența între temperatura suprafeței aparatului și cea a aerului reprezintă a treia parte din diferența dintre temperatura internă a omului și temperatura aerului încăperii.

2.5.6 Indicele de confort termic (B)

Aprecierea confortului termic se poate face și cu relația lui Van Zuielen [Săvulescu, 1984], în care sunt incluse cele 4 componente (temperatura aerului, temperatura medie radiantă, viteza aerului și conținutul de umiditate) și care redă senzația de confort a omului sub forma unui indice numeric B, dat sub forma:

$$B = C + 0,25 \cdot (t_i + t_r) + 0,1 \cdot x_i - 0,1 \cdot (37,8 - t_i) \cdot \sqrt{v_a} \quad (2.66)$$

unde:

t_i - temperatura aerului interior, [°C];
 t_r - temperatura medie de radiație a suprafețelor înconjurătoare, [°C];
 x_i - conținutul de umiditate în aerul din interior, [g/kg];
 v_a - viteza de mișcare a aerului interior, [m/s];
C - constantă, a cărei valoare este: C = - 9,2 pentru iarnă și C = - 10,6 pentru vară.

Confortul termic realizat în încăperea este apreciat prin valorile B tot pe o scală cu 7 puncte ca și indicele PMV, valori prezentate în tabelul de mai jos astfel:

Tabel 2.13. *Aprecierea confortului termic pe baza indicelui B (Van Zuielen)*

Valoare B	Senzația termică de:
B = -3 ... -2	inconfort termic - frig;
B = +1 ... +2	confort termic mulțumitoare;
B = +2 ... +3	inconfort termic - prea cald;
B = 0	confort termic optim.

2.5.7 Indicele UCRES

Indicele UCRES [Bancea, 1997] se referă la mediile unde se desfășoară activități ușoare și caracterizează uniformitatea confortului. Inconfortul termic depinde de 5 criterii:

- U – Uniformitatea orizontală a temperaturii;
- C – Curenții de aer (viteza aerului);
- R – Radiația asimetrică;
- E – Ecartul de temperatură între nivelul capului și al picioarelor;
- S – Pardoseală (Sol) caldă sau rece.

Pentru fiecare criteriu au fost definite 3 clase de calitate:

- 0 - confortabil;
- 1 - ușor inconfortabil;
- 2 - inconfortabil;

Stabilirea unui singur nivel de confort de ansamblu, la fel ca indicii PMV și PPD este insuficientă pentru a diagnostica pentru un mediu termic eterogen. Din acest motiv Centrul Științific și Tehnic pentru Construcții (CSTB) a dezvoltat indicele de confort UCRES, care caracterizează ambianța termică a unei zone ocupată în diferite puncte. Această metodă de caracterizare a calității unui mediu termic prin indicele UCRES a uniformității zonei de studiu, este o metodă complementară cu cea anterioară a indicilor PMV și PPD de evaluare a confortului în centrul încăperii.

Dacă cineva dorește să studieze ca ambianța termică să fie confortabilă, este necesar ca toate punctele să fie în clasa de calitate 0, sau să îndeplinească următoarele două cerințe:

- nici o notă nu trebuie să fie mai mare de 2;
- suma totală trebuie să fie mai mică de 5.

Pe baza prelucrărilor statistice în funcție de indicele PPD a lui P.O. Fanger, s-au stabilit următoarele ecuații:

Pentru "U" – uniformitatea orizontală a temperaturii:

$$PPD = 1,15 \cdot (t_{ri} - t_{rc})^2 \quad (2.67)$$

$$U = 2,06 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) - 4,65 \cdot PPD_m \quad (2.68)$$

unde:

- t_{ri} - temperatura rezultantă în punctul i, [°C];
- t_{rc} - temperatura rezultantă în centru încăperii, [°C];
- PPD_m - valoarea medie a PPD.

Pentru "C" – curenții de aer:

$$PPD = e^{(1,51+0,757 \cdot t_{ef})} + 2,51 \cdot t_{ef}^{1,143/2} - 2 \quad (2.69)$$

$$C = 1,03 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) \quad (2.70)$$

unde:

- t_{ef} - temperatura efectivă, [°C];

Pentru "R" – Radiația asimetrică:

$$PPD = 0,00089 \cdot \Delta t_{ro}^{3,738} \quad (2.71)$$

$$R_o = 1,44 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) - 1,67 \cdot PPD_m \quad (2.72)$$

$$PPD = 0,176 \cdot \Delta t_{rv}^{1,754} \quad (2.73)$$

$$R_v = 1,2 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) - 0,66 \cdot PPD_m \quad (2.74)$$

unde:

R_o - radiația asimetrică față de orizontală;

R_v - radiația asimetrică față de verticală;

Δt_{ro} - variația temperaturii pe orizontală;

Δt_{rv} - variația temperaturii pe verticală.

Pentru "E" – Ecartul de temperatură între nivelul capului și al picioarelor:

$$PPD = e^{(-0,977+0,897 \cdot \Delta t)-0,3} \quad \text{pentru } 0^\circ\text{C} < \Delta t < 4^\circ\text{C} \quad (2.75)$$

$$PPD = 0,349 \cdot \Delta t^{2,574} - 0,3 \quad \text{pentru } \Delta t > 4^\circ\text{C} \quad (2.76)$$

$$E = 1,44 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) - 1,67 \cdot PPD_m \quad (2.77)$$

unde:

Δt - diferența de temperatură de la nivelul capului și al picioarelor.

Pentru "S" – Pardoseală (Sol) caldă sau rece:

$$PPD = e^{(5,154-0,145 \cdot t_s)-5} \quad \text{pentru } 10^\circ\text{C} < t_s < 23,5^\circ\text{C} \quad (2.78)$$

$$PPD = e^{(-1,768-0,147 \cdot t_s)-5} \quad \text{pentru } t_s > 23,5^\circ\text{C} \quad (2.79)$$

$$S = 1,88 \cdot \ln(1 + 100 \cdot PPD_m) - 3,67 \cdot PPD_m \quad (2.80)$$

unde:

t_s - temperatura la nivelul pardoselei.

Pe baza relațiilor rezultă:

- senzația de confort corespunde la: $S=0$, $t_s = 23,5^\circ\text{C}$, $E=0$, $\Delta t = 0^\circ\text{C}$;

- senzația de disconfort corespunde la: $U=2,5$ ($t_{mr}=1,5^\circ\text{C}$), $C=2,5$ ($t_{ef}=1,4^\circ\text{C}$), $R_v=2,5$ ($\Delta t_{rv}=7^\circ\text{C}$), $R_o=2,5$ ($\Delta t_{ro}=10^\circ\text{C}$).

2.6. Cauze ale disconfortului termic local

Indicii de confort termic PMV respectiv PPD sunt utilizați pentru estimarea condițiilor de confort și disconfort pentru întreg corpul. Disconfortul termic poate da senzația neplăcută de răcire sau încălzire a unor părți ale corpului, aceste condiții sunt numite disconfort termic local sau disconfort local [Olesen, 2000]. Cea mai comună cauză a disconfortului local este curentul de aer. De asemenea disconfortul poate fi cauzat de diferențe mari ale temperaturii pe verticală între nivelul capului și al picioarelor (glezne) sau de podea prea caldă sau prea rece sau de asimetria mare a temperaturii radiante.

În principal oamenii care desfășoară o activitate sedentară sunt mai sensibili la disconfortul local. Aceștia vor avea o senzație termică a întregului corp mai

aproape de neutru. La o activitate medie, oamenii sunt mai puțin sensibili la temperatură și în consecință riscul la un disconfort termic este mai redus.

2.6.1 Curentul de aer – disconfort local

Disconfortul produs de curenții de aer [SR EN ISO 7730, 2006] este evaluat cu ajutorul indicelui DR care arată procentul din populație deranjată de curenții interiori de aer:

$$DR = (34 - t_i) \cdot (v_{am} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{am} \cdot T_u + 3,14) \quad (2.81)$$

unde:

DR – indicele persoanelor deranjate de senzația de curent, [%];

pentru $DR > 100\%$ m/s se consideră $DR = 100\%$

t_i – temperatura aerului interior, presupusă a fi în intervalul 20 – 26 [°C];

v_{am} – viteza medie a aerului (în raport cu corpul uman), [m/s];

pentru $v_{am} < 0,05$ m/s se consideră $v_{am} = 0,05$ m/s

T_u – intensitatea locală a turbulenței aerului cu valori cuprinse între 10-60% (dacă nu se cunoaște se poate folosi o valoare de 40%), [%].

$$T_u = \frac{\Delta v}{v_{am}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.82)$$

unde:

Δv – abaterea standard a vitezei aerului interior, dată de relația:

$$\Delta v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (v_{ai} - v_{am})^2} \quad (2.83)$$

unde:

v_{ai} – viteza aerului interior la momentul „i” al perioadei de măsurare.

2.6.2 Diferența de temperatură pe verticală

O diferență mare de temperatură pe verticală între cap și glezne poate cauza disconfort local [Olesen, 1979].

La experimentul realizat de Olesen au participat un număr de 16 subiecți, care au fost testați timp de 3 ore la 4 diferențe de temperatură pe verticală între nivelul capului și al gleznelor (0,4°C, 2,5°C, 5,0°C și 7,5°C). Subiecții pe perioada experimentului au purtat îmbrăcăminte ușoară – 0,6 clo, și au fost chestionați asupra senzației termice asupra disconfortului local și li s-a măsurat temperatura pielii. Mai puțin de 10% dintre participanți și-au exprimat senzația de disconfort local datorită diferențelor de temperatură mai mici de 3°C.

În figura 2.17 este reprezentat procentul de persoane nemulțumite (PD) datorită diferenței de temperatură pe verticală de la nivelul de 0,10m la 1,10m deasupra pardoselei.

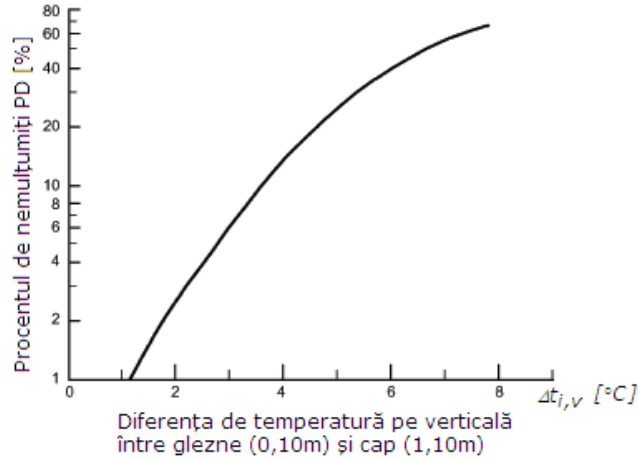


Figura 2.17. Disconfort local datorat diferenței de temperatură pe verticală [SR EN ISO 7730, 2006]

Această figură se utilizează la creșterea temperaturii pe verticală de jos în sus. Oamenii sunt mai puțin sensibili la scăderi ale temperaturii de sus în jos. Pentru trasarea curbei de variație a procentului de persoane nemulțumite (PD) [SR EN ISO 7730, 2006], la o diferență a temperaturii pe verticală $\Delta t_{i,v}$ de până la 8°C, s-a utilizat ecuația:

$$PD = \frac{100}{1 + e^{5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{i,v}}} \quad [\%] \quad (2.84)$$

unde:

$\Delta t_{i,v}$ – diferența de temperatură pe verticală de la nivelul de 0,1m la 1,10m față de pardoseală, [°C].

2.6.3 Pardoseală rece sau caldă

Dacă pardoseala este prea rece sau prea caldă ocupanții se simt inconfortabil datorită senzației termice de la nivelul picioarelor [Olesen, 1979a]. În figura 2.18 este reprezentat procentul de persoane nemulțumite (PD) [SR EN ISO 7730, 2006] datorită temperaturii pardoselii bazat pe studii cu persoane așezate sau sedentare.

Determinarea procentului de persoane nemulțumite (PD), față de temperatura pardoselii derivă din datele originale folosind analiza regresie neliniară, dată de relația:

$$PD = 100 - 94 \cdot e^{\left(-1,387 + 0,118 \cdot t_f - 0,0025 \cdot t_f^2\right)} \quad [\%] \quad (2.85)$$

unde:

t_f – temperatura la nivelul pardoselii, [°C].

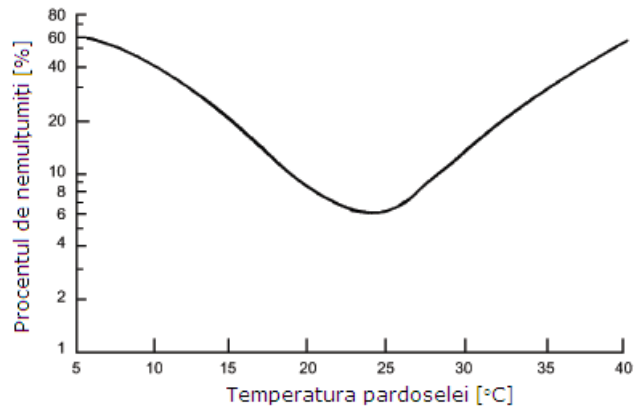


Figura 2.18. Disconfort local datorat temperaturii pardoselei [SR EN ISO 7730, 2006]

Suprafața de încălzire în pardoseală reprezintă și suprafața de contact direct cu corpul uman. Din motive medicale și fiziologice, încălzirea în pardoseală nu trebuie să depășească următoarele limite maxime de temperatură:

- încăperi de locuit: 29°C
- încăperi sau zone mai puțin circulat: 35°C

2.6.4 Asimetria temperaturii radiante

Asimetria temperaturii radiante poate asigura disconfort termic local. În figura 2.19 se prezintă procentul de nemulțumiri în funcție de asimetria temperaturii radiante cauzată de tavan cald, perete rece, tavan rece sau perete cald [Fanger, 1985].

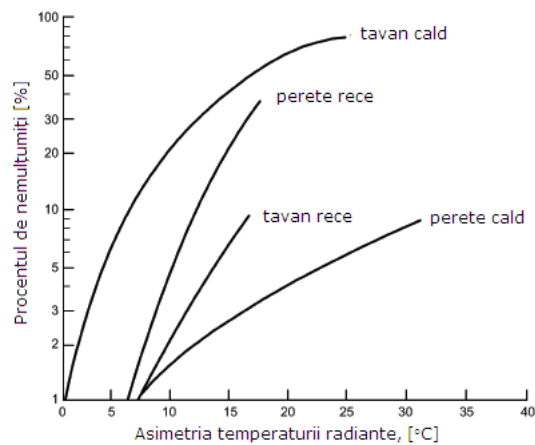


Figura 2.19. Disconfort local datorat asimetriei temperaturii radiante [SR EN ISO 7730, 2006]

Determinarea procentului de persoane nemulțumite (PD), față de asimetria

temperaturii radiante cauzată de elementele perimetrare se poate face cu relațiile:
Cazul „tavan cald”

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(2,84 - 0,174 \cdot \Delta t_{ar})}} - 5,5 \quad [\%] \quad (2.86)$$

$$\Delta t_{ar} < 23^{\circ}\text{C}$$

Cazul „perete rece”

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(6,61 - 0,345 \cdot \Delta t_{ar})}} \quad [\%] \quad (2.87)$$

$$\Delta t_{ar} < 15^{\circ}\text{C}$$

Cazul „tavan rece”

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(9,93 - 0,50 \cdot \Delta t_{ar})}} \quad [\%] \quad (2.88)$$

$$\Delta t_{ar} < 15^{\circ}\text{C}$$

Cazul „perete cald”

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(3,72 - 0,052 \cdot \Delta t_{ar})}} - 3,5 \quad [\%] \quad (2.89)$$

$$\Delta t_{ar} < 35^{\circ}\text{C}$$

unde:

Δt_{ar} – asimetria temperaturii radiante, [$^{\circ}\text{C}$].

Senzația local este corelată cu temperatura pielii sau a corpului [Zhang, 2003].

Pe baza indicilor PMV și PPD conform anexei A din standardul ISO 7730:2006, clădirile se pot evalua și clasifica în una din cele trei categorii descrise în tabelul 2.14, îndeplinind simultan toate criteriile pentru fiecare categorie în parte:

Tabel 2.14. Categoriile de ambianțe termice [SR EN ISO 7730, 2006]

Categoria	Senzația termică per ansamblu a corpului		Disconfort local			
	PPD %	PMV	DR* %	PD** % cauzat de:		
				diferența de temperatură pe verticală	pardoseli calde sau reci	asimetria radiației
A	<6	-0,2 < PMV < +0,2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0,5 < PMV < +0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7 < PMV < +0,7	<30	<10	<15	<10

* DR - indicele persoanelor deranjate de senzația de curent; ** PD - Procent de nesatisfăcuți

Confortul termic interior este diferit în funcție de cele 3 clase de confort A, B, C, clasa superioară trebuie avută în vedere la proiectare, iar celelalte descriu

situații „pasagere”.

2.7. Exemple de indici de confort meteorologici și climatici

Stabilirea gradului de confort climatic se face adesea prin combinarea în diferite forme de calcul a celor mai utilizați parametri: temperatură, umiditatea aerului și viteza vântului. Starea de confort este stimulativă pentru desfășurarea activităților, iar starea de disconfort, în funcție de intensitatea cu care acționează factorii climatici poate însemna un stres redus, stimulativ, de adaptare, acomodare și aclimatizare, dar și un stres accentuat și de lungă durată care induce pericol pentru sănătatea omului [Retezan, 2012a].

Indicele ITU (Humidex)

Există două metode de calcul a acestui indice și evident de exprimare a lui „adimensional” sau „în unități”, sau calibrat pe scala temperaturii adică în „°C”.

Valorile ITU, cuprinse între 40 și 85, reflectă senzațiile fiziologice de confort termic pe care le resimte organismul uman prin acțiunea combinată a proceselor fizice de transport caloric prin radiație, convecție și evaporare a apei de la nivelul pielii [Teodoreanu, 2007].

Formula de calcul a indicelui de confort termic exprimat în unități este:

$$ITU = 0.81 \cdot t_i + 0.01 \cdot \varphi \cdot (0.99 \cdot t_i - 14.3) + 46.3 \quad (2.90)$$

unde:

t_i – temperatura aerului, [°C];

φ - umiditatea relativă, [%].

Formula de calcul a indicelui de confort termic exprimat în grade elaborată și implementată de J.M.Masterton și F.A.Richardson, este:

$$ITU = t_i + 0.5555 \cdot \left(6.11 \cdot e^{5417.7530 \left(\frac{1}{273.16} - \frac{1}{\tau} - 10 \right)} \right) \quad (2.91)$$

unde:

t_i – temperatura aerului, [°C];

τ - temperatura punctului de rouă, [°C].

Indicele temperatură – umiditate ITU (folosit în România)

$$ITU = (1.8 \cdot t_i + 32) - (0.55 - 0.0055 \cdot \varphi) \cdot [(1.8 \cdot t_i + 32) - 58] \quad (2.92)$$

unde:

t_i – temperatura aerului la înălțimea de 2 m, [°C];

φ - umiditatea relativă la același nivel, [%].

Dacă:

$ITU \leq 65 \rightarrow$ stare confort

$ITU 66 \div 79 \rightarrow$ stare de alertă

$ITU \geq 80 \rightarrow$ stare de disconfort

Indicele temperatură – umiditate (după Tom)

$$ITU = 0.4 \cdot (t_{us} - t_{um}) + 4.78 \quad (2.93)$$

unde:

t_{us} – temperatura termometru uscat, [°C];

t_{um} – temperatura termometru umed, [°C].

Temperatura efectiv-echivalentă – T.E.E. (după Missenard)

$$TEE = 37 - \frac{37 - t_j}{0.68 + 0.00014 \cdot \varphi + \frac{1}{1.76 + 1.4 \cdot v_a^{0.75}}} - 0.29 \cdot t_j \cdot (1 - \varphi / 100) \quad (2.94)$$

sau

$$TEE = t_j - 0.4 \cdot (t_j - 10) \cdot (1 - \varphi / 100) \quad (2.95)$$

(formulă simplificată pentru viteze ale vântului ≤ 1 m / s).

unde:

t_i – temperatura aerului, [°C];

φ - umiditatea relativă, [%];

v_a - viteza aerului, [m/s].

Dacă:

$TEE \in (21 \div 22) \rightarrow$ indiferent

$TEE \in (23 \div 27) \rightarrow$ senzație de cald

$TEE \geq 27 \rightarrow$ senzație de foarte cald

Humidex – H_u (Anderson, pentru condițiile Canadei)

$$H_u = t_{us} + (5 / 9) \cdot (e - 10) \quad (2.96)$$

unde:

t_{us} – temperatura termometru uscat, [°C];

e – tensiunea vaporilor de apă, [mm Hg].

Dacă:

$H_u \in (20 \div 29) \rightarrow$ confortabil

$H_u \in (30 \div 39) \rightarrow$ disconfort de diferite grade

$H_u \in (40 \div 45) \rightarrow$ disconfort aproape pentru toți

$H_u \geq 46 \rightarrow$ restricționarea diferitelor activități

Indicele de vânt rece (stresul cutanat) (după Siple, Passel)

$$P = (10 \cdot \sqrt{v_a} + 10.45 - v_a) \cdot (33 - t_j) \quad (2.97)$$

unde:

t_i – temperatura aerului, [°C];

v_a - viteza aerului, [m/s].

Dacă: P – puterea de răcire, [kcal/m²]:

$P \in (0 \div 299) \rightarrow$ stres hipotonic, vara

$P \in (300 \div 599) \rightarrow$ stres relaxant

$P \in (600 \div 1500) \rightarrow$ stres hipertonic

2.8. Concluzii parțiale

Confortul termo-fiziologic stă la baza transformărilor biologice activate de modificările parametrilor de microclimat. Temperatura mediului ambiant și temperatura centrală a organismului sunt elementele active ale transferului de căldură om – mediu.

Corpul uman este înzestrat cu un mecanism complex de autoreglare termică condus de hipotalamus, care compensează pierderea de căldură excesivă la temperaturi ambientale scăzute și cedează surplusul acumulat datorită mediilor calde și a activităților metabolice și fizice intense, realizând echilibrul energetic necesar.

Starea de confort termic, gestionată de mecanismele de autoreglare metabolică, este percepută în mod individual în raport cu particularitățile fiziologice și factorii conjuncturali.

Indicatorii fizici ai microclimatului interior (temperatura aerului, temperatura medie de radiație, umiditatea relativă și viteza aerului) trebuie corelați cu recomandările privind limitele indicatorilor de confort termic PMV și PPD cuprinse în ISO 7730:2006. Conform acestei norme procentul de insatisfacție pentru un anume ambient termic PPD trebuie să fie mai mic de 10% și procentul mediu previzibil $-0,5 < PMV < 0,5$.

Confortul termic se realizează prin [SR EN ISO 7730, 2006]:

- asigurarea unei temperaturi operative medii, ca rezultată a temperaturii aerului, a suprafețelor delimitatoare, a umidității și vitezei de mișcare a aerului, în concordanță cu natura activității și îmbrăcămintea ocupanților;
- limitarea asimetriei temperaturilor radiante și a gradientilor de temperatură la valori acceptabile;
- evitarea situațiilor în care ocupanții vin în contact cu suprafețe prea reci sau prea calde;
- evitarea curenților de aer (limitarea vitezei de mișcare a aerului); Aceste exigențe se cer a fi îndeplinite atât în condiții de iarnă, cât și în condiții de vară.

Confortul vizual este obținut prin asigurarea unui iluminat adaptat activității în câmpul vizual, evitând contrastele foarte pronunțate, mai ales orbirea. Iluminatul natural este confortabil în măsura în care intensitatea să poată fi controlată.

Confortul acustic poate fi asigurat prin evitarea zgomotelor jenante, prin reducerea intensității acestora la sursă sau prin izolare acustică la zgomote aeriene sau de impact. Nivelul de zgomot normal admisibil are valori corelate cu natura activității care se desfășoară într-un anumit spațiu (activitate intelectuală, odihnă, îngrijirea sănătății etc.)

3. MĂSURAREA PRINCIPALILOR PARAMETRI DE CONFORT TERMIC

3.1 Metodele de măsurare a principalilor parametri care influențează confortul termic

Pentru stabilirea gradului de confort termic prin indicatori globali de confort termic este necesară cunoașterea mărimilor fizice care influențează în mod direct confortul termic [Păcurar, 2011c]. În funcție de dependența acestor mărimi față de confortul termic ambiental pot fi grupați în două categorii, și anume:

- a). mărimi fizice principale;
- b). mărimi fizice derivate.

Fiecare dintre mărimile fizice principale caracterizează unul din factorii ambianței termice, independent de ceilalți. Ele sunt adesea utilizate pentru a defini indicatorii de confort sau de stres termic bazați pe stabilirea prin calcul a bilanțului termic al omului situat într-o anumită ambianță termică. Aceste mărimi sunt următoarele:

- temperatura aerului;
- temperatura de radiație medie;
- umiditatea absolută a aerului;
- viteza aerului;
- temperatura suprafețelor.

Mărimile fizice derivate caracterizează un ansamblu de factori ai ambianței termice, ponderați în funcție de caracteristicile senzorilor utilizați. Aceste mărimi sunt adesea folosite pentru a defini un indicator empiric de confort sau de stres termic în mod direct, fără a trece printr-o metodă de calcul bazată pe stabilirea bilanțului termic rezultat și a efortului fiziologic. Unele mărimi derivate sunt descrise în standarde specifice referitoare la modul în care acestea se aplică și în care sunt incluse cerințele de măsurare.

3.1.1 Măsurarea temperaturii aerului

Temperatura aerului [SR EN 7726, 2001] este considerată ca fiind temperatura aerului în jurul corpului uman, ea trebuie să fie luată în considerare la determinarea schimbului de căldură prin convecție la nivelul corpului. Măsurarea acestei mărimi, deși adesea considerată simplă, poate să ducă la erori importante dacă nu sunt luate anumite precauții cum ar fi cele care urmează.

Reducerea influenței radiației

Se recomandă ca instrumentul de măsură (sonda) să nu fie supusă radiației surselor de căldură din vecinătate. Mijloace de reducere a influenței radiației asupra sondei sunt:

- reducerea factorului de emisie ;
- reducerea diferenței de temperatură între senzori și pereții învecinați;
- mărirea coeficientului de transfer termic prin convecție.

Inerția termică a senzorului

Un termometru plasat într-o ambianță termică dată nu indică instantaneu temperatura aerului. Acesta necesită un anumit timp de echilibru. Un termometru nu va răspunde mai rapid dacă:

- senzorul de temperatură este mai mic, mai ușor și are o capacitate calorică specifică mai redusă;
- schimburile de căldură cu mediul sunt mai bune.

Tipuri de senzori de temperatură:

a). Termometre cu dilatare:

- termometre cu dilatare de lichid (cu mercur);
- termometre cu dilatare de solid.

b). Termometre electrice:

- termometru cu rezistența variabilă:
- rezistor de platină;
- termistor.

- termometru bazat pe generarea unei tensiuni electromotoare (termocuplu).

c). Termomanometre (bazate pe variația presiunii unui lichid în funcție de temperatură).

3.1.2 Determinarea temperaturii de radiație medie

Temperatura de radiație medie [SR EN 7726, 2001] este temperatura uniformă a unei incinte virtuale în care schimburile de căldură între incintă și om sunt egale cu schimburile de căldură prin radiație în incinta reală.

Cantitatea netă a căldurii de radiație pierdută sau recepționată de către corpul uman este suma algebrică a tuturor fluxurilor radiante schimbate între părțile expuse ale acestuia și diferitele surse de căldură înconjurătoare. Fiecare din aceste fluxuri poate fi calculat cunoscându-se dimensiunile, localizările și caracteristicile termice (temperatura suprafeței și emisivitatea) ale sursei și părți ale corpului sau îmbrăcămintii care este expusă. Totuși, această metodă devine rapid complexă și laborioasă de îndată ce numărul surselor de căldură devine important sau aceste surse au forme neregulate.

Temperatura de radiație medie poate fi măsurată cu ajutorul unor aparate care permit ca radiația, în general neomogenă, provenită de la pereții unei incinte reale "să fie integrată" într-o valoare medie. O metodă de măsurare a temperaturii de radiație medii este aceea prin care se folosește globtermometrul.

Globtermometrul [SR EN 7726, 2001] este constituit dintr-o sferă neagră în centrul căreia este plasat un senzor de temperatură (cum ar fi rezervorul unui termometru cu mercur, un termocuplu sau o termorezistență).

Teoretic, diametrul sferei poate fi oarecare, dar relațiile utilizate la calcularea temperaturii de radiație medii fiind în funcție de diametrul sferei, se recomandă în general, un diametru de 0,15m pentru care aceste relații sunt bine stabilite.

Se menționează că, cu cât diametrul sferei este mai mic, cu atât este mai mare influența temperaturii și a vitezei aerului, antrenând astfel o diminuare a exactității de măsurare a temperaturii de radiații medii.

Suprafața exterioară a sferei trebuie să absoarbă radiațiile ce provin de la pereții incintei și, pentru aceasta, suprafața sferei este înnegrită, fie prin acoperire electrolitică, fie mai frecvent, prin depunere de vopsea neagră mată.

Bilanțul schimburilor de căldură între sferă și ambianță este dat de ecuația:

$$q_r + q_c = 0 \quad (3.1)$$

unde:

q_r - schimbul de căldură prin radiație între pereții incintei și sferă, [W/m²];

q_c - schimbul de căldură prin convecție între aer și sferă, [W/m²].

Schimburile de căldură prin radiație între pereții incintei, caracterizați prin temperatura de radiație medie și sferă sunt date de relația:

$$q_r = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (t_r^4 - t_g^4) \quad (3.2)$$

unde:

ε_g - emisivitatea globului negru (adimensională) ($\varepsilon_g=0.95$);

σ - constanta Stefan-Boltzmann, $\sigma=5,67 \cdot 10^8$ [W/m²°C⁴];

t_r - temperatura de radiație medie, [°C];

t_g - temperatura de globtermometru, [°C]

Schimburile de căldură prin convecție între aerul din incintă și sferă sunt definite prin relația:

$$q_c = h_{cg} \cdot (t_i - t_g) \quad (3.3)$$

unde:

h_{cg} - coeficientul de transfer termic prin convecție la nivelul sferei, [W/m²°C⁴];

t_i - temperatura aerului interior, [°C];

În cazul convecției naturale coeficientul de transfer termic se calculează cu relația:

$$h_{cg} = 1,4 \cdot \frac{\sqrt[4]{\Delta t}}{D_{sf}} \quad (3.4)$$

unde: $\Delta t = t_g - t_i$ [°C]

iar în cazul convecției forțate, coeficientul de transfer termic se calculează cu relația:

$$h_{cg} = 6,3 \cdot \frac{v_a^{1/4}}{D_{sf}^{0,4}} \quad (3.5)$$

unde:

D_{sf} - diametrul sferei, [m];

v_a - viteza aerului la nivelul sferei, [m/s].

Bilanțul termic al sferei negre este dat de ecuația:

$$\varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (t_r^4 - t_g^4) + h_{cg} \cdot (t_i - t_g) = 0 \quad (3.6)$$

Temperatura de radiație medie este dată de ecuația:

$$t_r = 4 \cdot \sqrt[4]{t_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (t_g - t_i)} \quad (3.7)$$

În regim de convecție naturală, se obține:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + \frac{0,25 \cdot 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{|t_g - t_i|}{D} \right)^{1/4} \cdot (t_g - t_i) - 273} \quad (3.8)$$

În cazul sferei standard $D=0,15\text{m}$, $\varepsilon_g = 0,95$ (vopsea neagră mată), ecuația (3.6) devine:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_i|^{1/4} \cdot (t_g - t_i) - 273} \quad (3.9)$$

În convecție forțată se obține:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v_i^{0,6}}{\varepsilon_g \cdot D^{0,4}} \cdot (t_g - t_i) - 273} \quad (3.10)$$

Sau pentru sfera standard:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot v_i^{0,6} \cdot (t_g - t_i) - 273} \quad (3.11)$$

Datorită inerției sale termice mari, globtermometrul nu poate fi folosit pentru a determina temperatura de radiație ce variază rapid.

Utilizarea unui globtermometru pentru evaluarea temperaturii de radiație medii este o aproximare datorită diferenței de formă între o persoană și o sferă. În special radiația ce provine de la plafon sau de la pardoseală este supraestimată de către sferă, față de cea primită de o persoană în poziție orostatică sau așezat.

Alte metode de măsurare a temperaturii de radiație medii sunt : cea în care se folosește un radiometru cu două sfere și cea în care se folosește un senzor la temperatura aerului constantă.

3.1.3 Determinarea temperaturii de radiație plană

Temperatura de radiație plană [SR EN 7726, 2001] este temperatura uniformă a unei incinte pentru care radianța pe una din fețele unui mic element plan este aceeași ca în mediu real neuniform. Așa-numitul radiometru "net" este un aparat utilizat adesea pentru măsurarea acestei mărimi.

În diferite ambianțe termice, o persoană poate fi expusă la o radiație termică asimetrică.

Asimetria temperaturii de radiație este diferența dintre temperatura de radiație plană a doua fețe opuse ale unui mic element plan.

Măsurarea temperaturii de radiație plană se face cu ajutorul unui senzor încălzit, constituit dintr-un disc reflectant și unul absorbant.

Temperatura de radiație plană poate fi măsurată cu un senzor încălzit constituit dintr-un disc reflectant (aurit) și un disc absorbant (vopsit în negru). Discul aurit va pierde căldură aproape în întregime prin convecție, iar cel vopsit în negru, atât prin convecție cât și prin radiație. Dacă cele două discuri sunt încălzite la aceeași temperatură, diferența dintre puterea de încălzire la cele două discuri este egală cu schimbul de căldură prin radiație între discul vopsit în negru și mediu.

Temperatura de radiație plană se calculează deci cu ecuația:

$$t_{pr}^4 = t_d^4 + \frac{P_p - P_b}{\sigma \cdot (\varepsilon_a - \varepsilon_r)} \quad (3.12)$$

unde:

t_{pr} - temperatura de radiație plană, [°C];

t_d - temperatura discului, [°C];

P_p - puterea de încălzire primită de discul reflectant, [W/m²];

P_b - puterea de încălzire primită de discul absorbant, [W/m²];

ε_r - emisivitatea discului reflectant;

ε_a - emisivitatea discului absorbant;

σ - constanta Stefan-Boltzmann, [W/m²°C⁴];

Măsurarea temperaturii de radiație plană se mai poate realiza cu ajutorul unui radiometru net.

3.1.4 Măsurarea umidității relative a aerului

Umiditatea aerului [SR EN 7726, 2001] indică un nivel higrometric ce reprezintă cantitatea de apă conținută într-un eșantion de aer. Există trei moduri de a exprima umiditatea: umiditatea absolută, umiditatea relativă și presiunea vaporilor de apă.

Diferitele aspecte în virtutea cărora se măsoară acest fenomen fizic sunt următoarele:

- umiditatea absolută a aerului, φ_a [%] - reprezintă greutatea totală a vaporilor conținuți într-un metru cub de aer la o anumită temperatură. Greutatea la temperaturi normale poate varia între 1 și 40 grame.

- umiditatea relativă a aerului, φ [%] - reprezintă cauza generatoare de disconfort într-o încăpere - este raportul exprimat în procente dintre umiditatea efectiv conținută în aer la o temperatură dată și umiditatea maximă care poate fi atinsă la aceeași temperatură.

- presiunea vaporilor de apă, p_v [Pa] - reprezintă forța elastică a vaporilor măsurată în [mmHg], forță care pentru condiții normale de temperatură poate varia între 1-40 [mmHg]. Presiunea crește direct proporțional cu cantitatea de vapori, adică cu umiditatea absolută, sau cu temperatura și indirect cu umiditatea specifică a aerului.

Umiditatea specifică reprezintă cantitatea de vapori de apă pe care o conține 1 kg de aer umed, exprimată în [g/kg].

Măsurarea umidității relative se realizează cu următoarele instrumente de măsură :

- higrometrul cu fir de păr;
- higrometrul Assman sau psihrometrul;
- higrometrograful;
- higrometrul de dispersie;
- analizatorul Drager.

3.1.5 Măsurarea vitezei aerului

Viteza aerului [SR EN 7726, 2001] este o mărime caracterizată prin modulul și direcția sa.

Viteza aerului v_a , în orice punct al spațiului variază în timp și se recomandă a fi măsurată. Măsurarea vitezei aerului se face cu aparatură adecvată, frecvent se folosesc:

a). anemometrele, în diferite variante funcționale și constructive:

- cu palete și cupe (aplicare direcțională);
- cu fir cald (aplicare direcțională);
- cu fir pulsatil (insensibil la direcția fluxului de aer);
- cu sferă caldă și termistor (insensibil la direcția fluxului de aer);
- ultrasonic (insensibil la direcția fluxului de aer);
- cu efect laser (insensibil la direcția fluxului de aer).

b). catatermometrul Hill, are ca principiu pierderea de căldură între aparat și mediul ambiant în funcție de viteza curenților de aer.

Catatermometrul este un termometru cu alcool, cu două rezervoare, unul mare inferior și altul mic superior, unite printr-o tijă capilară, care are două gradații de 35 și 38°C. Tot pe tijă este notat și catafactorul F – care arată cantitatea de căldură care se pierde pe 1 cm² de suprafață la o răcire de la 38 la 35°C.

Aparatul se introduce în apă caldă la 80°C, până când coloana de alcool ajunge să ocupe 1/3 din rezervorul superior, apoi se instalează la locul determinării și se cronometrează timpul de coborâre a alcoolului de la 38 la 35°C, și se notează cu t (secunde) media a cel puțin 3 determinări. Se calculează puterea de răcire a catatermometrului, $H=F/t$ (F =catafactor, t =timpul cronometrat). Se calculează diferența dintre temperatura medie a suprafeței corpului uman și temperatura aerului $Q = 36,5 - t_i$. Se calculează raportul H/Q de unde ținând cont de valoarea acestuia se poate determina viteza din tabele, nomograme sau formule.

Catatermometrul se folosește pentru determinarea vitezelor mici ale curenților de aer și temperaturi care nu pot depăși 32-33°C. Pentru viteze mari, de până la 30 m/sec, se folosesc anemometrele.

3.1.6 Determinarea conținutului de CO₂

Concentrația de (CO₂)_t la interior la un moment de timp în cazul unui proces de schimb de aer între interior și exterior se poate determina cu relația [Griffiths, 2008]:

$$(CO_2)_t = CO_{2ext} + \frac{q_{CO_2} \cdot 10^6}{Q} - \left(CO_{2ext} - (CO_2)_0 + \frac{q_{CO_2} \cdot 10^6}{Q} \right) \cdot e^{-Q_t/V} \quad (3.13)$$

unde:

$(CO_2)_t$ – concentrația de CO_2 din aerul interior, la momentul „t” [ppm];

t – intervalul de timp de la t=0, [s];

CO_{2ext} – concentrația de CO_2 din aerul exterior, [ppm];

$(CO_2)_0$ – concentrația de CO_2 din aerul interior, la momentul t=0, [ppm];

Q – rata schimbului de aer, [m^3/s];

q_{CO_2} - debitul de CO_2 emis la interior, [m^3/s];

V – volumul spațiului interior, [m^3].

Când sala de curs nu este ocupată, atunci nu există emisii de CO_2 de la ocupanți, deci $q_{CO_2}=0$ și ecuația de mai sus, poate fi rearanjată pentru a da următoarea ecuație:

$$Q = -\frac{V}{t} \cdot \ln \left(\frac{(CO_2)_t - CO_{2ext}}{(CO_2)_0 - CO_{2ext}} \right) \quad (3.14)$$

Această relație permite ca rata de ventilare Q să fie determinată cunoscând două valori la perioade de timp diferite.

În cazul unor activități organizate care se desfășoară în timp finit este necesar ca la momentul final (de încheiere a activităților) concentrația de CO_2 să nu depășească valoarea maximă admisă în spațiul ocupat. Este cazul în special al spațiilor în care se desfășoară activități didactice.

În cazul ventilării acestor spații cu un debit constant de aer proaspăt, rata de ventilare minimă admisă pentru diluția concentrației de CO_2 se determină cu relația:

$$n_a = \frac{N_{pers} \cdot q_{CO_2pers}}{((CO_2)_{max} - CO_{2ext}) \cdot V \cdot \rho_a} \quad \left[\frac{1}{s} \right] \quad (3.15)$$

unde:

n_a – rata de ventilare, [s^{-1}];

N_{pers} – numărul de persoane;

q_{CO_2pers} - debitul de CO_2 emis la interior de o persoană, [m^3/s];

$(CO_2)_{max}$ – concentrația de CO_2 maxim admisă în aerul interior, [ppm];

CO_{2ext} – concentrația de CO_2 din aerul exterior, [ppm];

V – volumul spațiului interior, [m^3];

ρ_a – densitatea aerului, [kg/m^3].

3.2. Confortul ambiental în școli

Pornind de la prioritatea și importanța educației, prin programe și sisteme, s-a ajuns și la analiza influenței clădirilor de învățământ asupra eficienței studiului. Dintre parametrii/ caracteristicile care se cer clădirii unei școli, o importanță aparte o are confortul ambiental. Legătura între confortul ambiental și performanța didactică a fost și este intuit, dar important este faptul de a fi demonstrat. În acest sens s-au făcut observații și studii pentru mai mulți parametri. Calitatea aerului dintr-o încăpere de studiu este unul dintre principalii parametri de confort – prin efectele majore pe care le generează alături de temperatura ambientală, lumină, zgomot, pe timpul studiului.

3.2.1. Sinteză a cercetărilor privind confortul termic la ambele genuri

Gradul de confort termic este perceput diferit de bărbați față de femei. Unii autori nu au găsit nici o diferență în ceea ce privește temperatura interioară percepută de femei sau bărbați [Fanger, 1973a], [Fanger, 1973b], deși în condiții neuniforme temperatura pielii la femei este mai mare decât la bărbați [Olesen, 1973]. În studiile realizate de Karjalainen, se observă că femeile sunt mult mai critice față de mediul termic din clădirile de birou, fiind mai puțin satisfăcute de temperatura din interior, preferând o temperatură mai ridicată. Totuși bărbații utilizează mai des termostatul pentru reglarea temperaturilor dorite, decât femeile [Karjalainen, 2007], aceasta fiind în funcție de factorii psihologici și culturali [Humphreys, 1998].

În plus bărbații încep să transpire la o temperatură mai mică, și au o rată mai mare de transpirație în condiții umede față de femei la aceleași condiții.

Un scurt istoric al studiului confortului termic bazându-se pe compararea între genuri, este prezentat în tabelul 3.1 în ordine alfabetică.

Tabel 3.1. Scurt istoric al studiilor de confort termic la ambele genuri [Karjalainen, 2012]

Autor	Descriere experiment	Concluzii
Amai și alții, 2007	S-a studiat efectul climatizării asupra confortului termic cu ajutorul a trei tipuri diferite de teste. Testele au fost realizate într-o cameră climatică a cărei temperatură a fost setată la 28°C respectiv 26°C cu umiditatea relativă de 50%. Rezistența termică a îmbrăcăminții la bărbați a fost de 0,7 clo, iar la femei de 0,4 clo. Persoanele chestionate au fost 12 bărbați și 12 femei. [Amai, 2007]	S-au obținut mici diferențe între bărbați și femei privind senzația termică. Bărbații au avut tendința să prefere curenți de aer reci și rapizi și femeile au tins să prefere curenți de aer calzi și înceți. La un nivel mediu al senzației termice între confortabil (0) și ușor inconfortabil (-1), bărbații au avut valori între -0,5 și -0,7, iar femeile între -0,4 și 0,3.
Beshir și Ramsey, 1981	31 bărbați cu vârste cuprinse între 18 și 40 ani și 15 femei cu vârste cuprinse între 18 și 24 ani au fost chestionați	Temperatura preferată de bărbați (WBGT=22°C) este semnificativ mai scăzută

78 MĂSURAREA PRINCIPALILOR PARAMETRI DE CONFORT TERMIC

Autor	Descriere experiment	Concluzii
	asupra confortului termic. Subiecții au fost expuși la patru niveluri de indici de stres termic, WBGT (23.3, 32,2, 37.8 și 43.3°C), în timp ce îndeplinesc sarcini percepute ca motorii. Rezistența termică a îmbrăcămînții egală cu 0,6 clo [Beshir, 1981].	decât cea a femeilor (WBGT=25°C). Femeile se simt mai inconfortabil ca și bărbații la ambele extreme (ridicată și scăzută) ale temperaturii
Chow și alții, 2010	300 de studenți chinezi, număr egal de femei și bărbați au fost chestionați în ceea ce privește modificări ale vitezei aerului și temperaturii într-o zonă climatică caldă și umedă (Hong Kong) [Chow, 2010].	Bărbații au fost mult mai sensibili la modificări ale vitezei aerului, în timp ce femeile au fost mai sensibile la modificări ale temperaturii aerului. La aceeași viteză a aerului, femeile au preferat temperaturi mai ridicate decât bărbații. La o viteză a aerului între 0.1-0,2 m/s și o rezistență termică a îmbrăcămînții de 0,55 clo s-a observat că temperatura neutră a fost de 24.5 °C la femei iar la bărbați a fost de 25.9 °C
de Dear și alții.,1991	S-au realizat chestionare și măsurători fiziologice (temperatura pielii și pierderi în greutate) într-o încăpere climatizată cu o temperatură operativă de 25.7°C. Experimentele au durat 2,5 ore iar chestionarele au fost completate la fiecare 10 minute de fiecare respondent. La studiu au participat un număr de 32 studenți din Singapore (16 băieți și 16 fete) [deDear, 1991].	Nu s-au observat diferențe semnificative legate de genul persoanelor în ceea ce privește temperatura preferată, senzația termică, temperatura medie a pielii ori pierderi în greutate prin evaporare
Fanger, 1970	S-au chestionat pe o durată de 3 ore două grupuri de danezi în vârstă (64 femei și 64 bărbați în ambele grupuri) și un grup de elevi (360 fete și 360 băieți) de la un liceu din America. Temperatura aerului a fost menținută la 4 nivele diferite (21.1, 23.3, 25.6 și 27.8°C) la o îmbrăcăminte ușoară de vară (0.6 clo). [Fanger, 1970].	Nu s-au observat diferențe între preferința de temperatură la femei și bărbați. În orice caz, printre americani, femeile preferă temperaturi mai ridicate (25.09°C). Femeile au fost mai sensibile la abateri de la optim în toate grupurile, decât au perceput bărbații în special în condiții reci.
Fanger și alții, 1988	S-au chestionat la 3 experimente (fiecare experiment având o durată de 2,5 ore) un număr de 50 persoane (25 femei și 25 bărbați) cu vârsta medie de	Cu toate că nu s-a observat nici o diferență a senzațiilor la mișcarea aerului, femeile și-au

Autor	Descriere experiment	Concluzii
	22 ani. Subiecții au fost expuși la curenți de diferite nivele de intensitate și turbulență a vitezei aerului la o temperatură menținută la 23°C. [Fanger, 1988].	exprimat insatisfacția la mici modificări ale vitezei aerului la nivelul capului. La viteze ridicate ale aerului nu s-au observat diferențe între confortul subiecților
Griefahn și Kunemund, 2001	La modificări ale curenților de aer pe durata a 1000 de sesiuni de o oră au fost chestionați 70 de femei și 109 bărbați cu vârste cuprinse între 18 și 68 ani [Griefahn, 2001].	Femeile s-au simțit mai inconfortabil la rece și au preferat temperaturi mai ridicate decât bărbații
Grivel și Candas, 1991	La studiu au participat un număr de 24 bărbați și 24 femei cu vârste cuprinse între 18 și 30 ani. S-au realizat măsurători fiziologice (temperatura pielii și cea rectală). Măsurătorile s-au realizat într-o cameră climatică pe durata a 3 ore, în prima oră temperatura a fost setată la 25.1°C, iar în următoarele 2 ore temperatura a fost stabilită de subiecți [Grivel, 1991].	Temperatura medie preferată de femei a fost cu 0.5°C mai ridicată decât la bărbați, dar diferența nu a fost statistic semnificativă. În medie, bărbații au prezentat o temperatură rectală cu 0.3°C mai scăzută decât la femei. În aceeași zi variațiile de temperatură au fost mai ridicate în rândul bărbaților
Hashiguchi și alții., 2010	S-au chestionat și a fost măsurată temperatura pielii la 8 bărbați și 8 femei cu vârsta medie de 22 ani. Concomitent s-au efectuat activități mentale și au fost expuși la patru condiții diferite de temperatură (16°C, 19°C, 22°C respectiv 25°C) între partea superioară și inferioară a corpului [Hashiguchi, 2002].	Diferența între variația temperaturii la nivelul pielii a crescut la femei comparativ cu cea a bărbaților în condiții reci. Diferența pe verticală a temperaturii aerului nu a avut efecte semnificative asupra persoanelor în ceea ce privește performanța avută la îndeplinirea activității mentale.
Ishii și alții, 1990	Un număr de 5 fete și 5 băieți (studenți) pe durata a două veri, au fost expuși la efectul senzației termice la ventilare încrucișată în condiții calde, la temperaturi ale aerului mai mari de 28°C și viteze ale aerului mai mari de 0.6 m/s. Îmbrăcămintea a fost ușoară de vară (0.3 clo). Studiul nu a fost realizat într-o încăpere climatizată, dar este în alte privințe similar cu alte studii de laborator incluse. Subiecții au fost chestionați asupra senzației de confort prin a apăsa un buton atunci	Femeile sunt mai sensibile termic decât bărbații. Comparativ cu bărbații, femeile sunt mai sensibile la variații ale curenților de aer redus.

Autor	Descriere experiment	Concluzii
	când au simțit că senzația de confort s-a schimbat. [Ishii, 1990].	
Lan și alții., 2008	Acest studiu constă în două experimente la care au participat 20 chinezi (număr egal de fete și băieți) cu vârsta de 20 ani. La primul experiment subiecții au fost supuși la 5 nivele de temperatură (21, 24, 26, 29 și 32 °C). Fiecare subiect a fost testat timp de o oră în fiecare dimineață pe durata a 5 zile, în fiecare zi la o temperatură diferită. La cel de-al doilea experiment subiecții au avut o îmbrăcăminte ușoară (0,8 clo) și au fost expuși îndelungat la 4 nivele de temperatură, totodată măsurându-se temperatura pielii și variația ritmului cardiac [Lan, 2008].	Fetele au fost mult mai sensibile la temperatură și mai puțin sensibile la umiditate decât băieții. Fetele au fost probabil ușor nemulțumite față de condițiile termice. Fetele au preferat condiții neutre sau călduțe, și băieții au preferat condiții neutre și reci. Temperatura operativă confortabilă pentru fete (26.3°C) a fost mai ridicată față de cea a băieților (25.3°C), deși băieții și fetele au aproape aceeași temperatură medie. Temperatura pielii la fete a fost constant mai scăzută decât la băieți. S-a concluzionat că "este logic că fetele sunt mult mai sensibile la mediul rece în concordanță cu analiza temperaturii pielii și relația între corp și senzație"
Lee și Choi, 2004	La o temperatură de 19°C, 7 femei și 15 bărbați cu o medie de vârstă de 21 ani au fost chestionați și li s-a măsurat temperatura pielii, temperatura rectală, ritmul cardiac și consumul de oxigen. Fiecare subiect a fost îmbrăcat de 4 ori cu 2 tipuri de haine [Lee, 2004].	Femeile s-au simțit mai inconfortabil în același mediu rece, au avut mai multe fluctuații ale ritmului cardiac, iar diferența dintre temperatura rectala și temperatura pielii a fost mai mare la femei decât la bărbați
Liu și alții., 2011	Un număr de 12 băieți și 10 fete (studenți cu vârstă medie de 23.9 ani) au fost îmbrăcați în haine de vară (vestă și pantaloni scurți, 0.3 clo) și au fost expuși la o combinație de temperaturi (21, 24, 26 și 29 °C). Subiecții au fost chestionați, totodată li s-a măsurat temperatura pielii și li s-au făcut electrocardiografe [Liu, 2011].	La aceste experimente temperatura pielii și temperatura medie a senzațiilor termice au fost mai scăzute la fete decât la băieți. Temperatura medie a pielii la femei a fost mai scăzută decât a bărbaților în aceleași experimente. Temperatura media a senzațiilor termice a fost mai scăzută la femei decât

Autor	Descriere experiment	Concluzii
		la bărbați (excepție fac temperaturile mai scăzute de 26 °C). Oricum, diferențele între temperatura medie a pielii și senzația termică între genuri nu au fost statistic semnificativă (exceptând temperaturile sub 29 °C în primul grup)
McNall și alții, 1967	Un număr de 210 băieți cu vârstă cuprinsă între 19 – 20 ani și un număr de 210 fete cu vârstă cuprinsă între 17 – 25 ani au fost chestionați timp de 3 ore în grupe de câte 10 (5 fete și 5 băieți). Pe perioada experimentelor subiecții au fost supuși la 3 nivele de activitate (scăzută, medie și ridicată) și la 9 combinații de temperatură – umiditate. Concluziile au rezultat pe baza chestionarelor și a măsurării pulsului [McNall, 1967].	Nu s-au sesizat diferențe ale temperaturii medii între băieți și fete la fiecare nivel metabolic. Oricum, zona de confort pentru băieți a fost considerată mai extinsă decât la fete (diferența de gen nu a fost măsurată semnificativ)
Nevins și alții., 1966	A fost chestionat un număr de 360 fete și 360 băieți (studenți) cu vârsta între 18 și 23 ani. În timpul experimentelor subiecții îmbrăcați în haine de bumbac (0,52 clo) au fost supuși la 72 combinații de temperatură și umiditate [Nevins, 1966].	Percepția senzației termice la temperaturi scăzute (19-22°C) a fost mai mare la fete decât la băieți. La temperaturi ridicate diferențele sunt mici.
Parsons, 2002	Au fost chestionați 16 băieți și 16 fete cu vârste cuprinse între 18 și 25 ani pe parcursul a 3 ore la 3 nivele de temperatură: 18,5, 23 și 29 °C. Rezistența termică a îmbrăcăminții a fost 0.8 clo [Parsons, 2002].	S-au observat doar mici diferențe ale confortului termic între subiecții de gen masculin și feminin, dar în condiții reci (18.5°C) fetele tind să fie mai friguroase decât băieții. Fetele au raportat răcirea semnificativă a mâinilor în condiții reci , comparativ cu băieții
Păcurar și Retezan 2011	Au fost chestionate 17 fete și 24 băieți, studenți cu o medie de vârstă de 20 ani. Măsurătorile au fost realizate într-o sală de curs în perioada rece pe o durată de 4 ore. Variațiile temperaturii au fost între (20-23)°C, îmbrăcăminte de iarnă (0.5 clo) [Păcurar, 2011b].	Fetele au raportat o senzație de temperatură neutră mai mare decât băieții .
Pellerin și Candas, 2004	S-au realizat experimente pe o perioadă de 2 ore ce combină efectele zgomotului de diferite nivele (35, 60 și	Estimările termice și acustice ale subiecților nu au fost influențate de gen

Autor	Descriere experiment	Concluzii
	75 dB) și diferite temperaturi (18, 24 și 30 °C). La studiu au participat 9 fete (media de vârstă 24.1 ani) și 9 băieți (media de vârstă 23.1 ani), purtând o îmbrăcăminte ușoară (0.6 clo) [Pellerin, 2004].	
Tiller și alții., 2010	S-a studiat confortul termic combinând efectele temperaturii, zgomotului și efectele performanței. Condițiile termice la care au fost expuși au fost de 26.4, 24.3, 22.3, 20.2 și 18.1°C și 3 nivele de zgomot: 30, 40 și 50 dB. La experimente au participat un număr de 30 subiecți (16 femei și 14 bărbați) [Tiller, 2010].	Femeile au semnalat insatisfacția la temperaturi scăzute (18°C) față de bărbați și satisfacție la temperaturi ridicate (26°C) Rata temperaturii confortului termic pentru bărbați și femei converge la 22°C
Todde, 2000	Au fost chestionați și s-a măsurat temperatura pielii la 6 femei și 6 bărbați. S-au studiat reacțiile umane la mișcări locale ale aerului atunci când subiecții erau dezbrăcați [Todde, 2000].	S-au observat diferențe clare între subiecți. Femeile au fost mai sensibile decât bărbații la mișcarea aerului și au considerat mișcările aerului mai neplăcute. Femeile au arătat o scădere mai mare a temperaturii pielii decât bărbații.
Wyon și alții.,1972	Au fost chestionați 72 elevi cu vârsta de 17 ani (36 fete și 36 băieți) Subiecții au fost expuși la variații ale temperaturii (valori cuprinse între 20 și 29°C) [Wyon, 1972].	Băieții au avut senzația de "prea cald" la temperaturi ridicate comparativ cu fetele, iar răspunsul lor crește mai rapid cu creșterea temperaturii

Conform tabelului 3.1 se poate observa în urma experimentelor realizate în diverse studii privind senzația confortului termic, că femeile sunt mai sensibile la temperatură decât bărbații la aceleași condiții termice. Cele mai multe studii de laborator au concluzionat că diferențe semnificative între sexe se datorează ambianțelor reci, femeile fiind mai nemulțumite decât bărbații la temperaturi mai scăzute. Fanger a sugerat că femeile sunt mai sensibile la deviații ale temperaturii aerului față de temperatura optimă. Nivelul de rezistență termică a îmbrăcămintii în cele mai multe studii au avut aceeași valoare. La aceste studii subiecții au fost preponderent studenți.

3.2.2. Sinteza a cercetărilor privind influența sistemelor de ventilare asupra sănătății în școli

În conformitate cu studiile asupra calității aerului, se cunoaște faptul că, calitatea aerului afectează sănătatea oamenilor. Cele mai multe probleme ale calității aerului într-o clădire sunt cauzate de o ventilare insuficientă și de o

defectuoasă întreținere, chiar din faza de construcție. Aceste probleme pot fi rezolvate încă de la început printr-o atenție mărită asupra realizării proiectului, selecției materialelor, instalațiilor și întreținerii ulterioare. Instalațiile de ventilare pot asigura o calitate bună a aerului interior, dar o mare atenție trebuie acordată întreținerii și filtrării aerului pe toată durata de funcționare.

Cercetările asupra calității aerului în școlile din Statele Unite ale Americii realizate de [Shendell, 2004], au arătat asocierea între rata de ventilare scăzută și creșterea absenteismului. Au fost chestionate 409 săli de curs din 22 școli din Idaho și Washington. Dintre toate doar 2 săli de curs au avut unități de ventilație individuală. S-a măsurat diferența de concentrație a CO₂ de la interior și exterior ca fiind un indicator al ratei de ventilație pe persoană. Măsurătorile au fost de scurtă durată (<5 minute) pe parcursul unei zile de școală. S-a evidențiat o puternică asociere între perioadele scurte de creștere a concentrației de CO₂ [0 - 3500 ppm] și absenteism.

Cea mai obișnuită cauză a absenteismului este legată de problemele de astm. Adeseori astmul apare în timpul copilăriei. Potrivit Raportului „Global Asthma Report 2011” [GlobalAsthm, 2012] aproximativ 250 milioane de oameni din întreaga lume au probleme de astm, și se preconizează a fi în creștere.

Smedje și Norback au chestionat un număr de 100 săli de clase din 39 școli. S-au chestionat și comparat măsurătorile realizate în școli între anii 1993 respectiv 1995. În acest interval 12% dintre școlile chestionate și-au realizat sistem de ventilare mecanic, crescând rata de ventilare de la 0,5 schimburi orare la 4 schimburi orare, în timp ce alte școli aveau o rată de ventilare de 3 schimburi orare. Datorită creșterii ratei de ventilare în acest interval a scăzut și raportarea simptomelor astmatice. În anul 1993, 77% dintre școli nu îndeplineau cerințele privind rata de aer proaspăt și nici nivelul de CO₂ nu era sub limita de 1000ppm conform standardelor locale, dar acest procent a fost redus la 65% în anul 1995 [Smedje, 1996b].

Un studiu cu un număr mai mic de persoane intervievate l-a realizat Walinder [Walinder, 1997a], [Walinder, 1997b]. A fost chestionat un număr de 27 persoane, dintre care 15 elevi dintr-o școală cu ventilare naturală cu o rată de ventilare de 0,6 schimburi orare (2,5 l/s-pers) și 12 elevi dintr-o școală cu ventilare mecanică, cu o rată de ventilare mult mai mare de 5,2 schimburi orare (8,9 l/s-pers). Cercetările au sugerat efectul de creștere a congestiei nazale la o rată de schimb scăzută a aerului.

Un studiu realizat tot de Walinder [Walinder, 1998] a urmărit reacția între simptomele care afectează în principal nasul și gradul de ventilare. Un număr de 234 persoane au fost chestionate în școlile din localitatea Uppsala, Suedia. Măsurători au fost făcute în 2 săli de curs în fiecare școală în anul 1993, lunile martie -mai și au fost repetate între lunile ianuarie-martie anul 1995 asupra parametrilor de ventilare. Rata de schimb a aerului a fost în intervalul 0,5 – 5,2 schimburi orare (cu o medie de 1,9 h⁻¹); corespunzător unui debit de aer proaspăt de 1,1 - 9,0 l/s-pers (cu o medie de 4,4 l/s-pers). S-au dat chestionare cu privire la informații despre simptomele nazale. Pentru determinarea debitului de aer inspirat pe nas s-a utilizat un rinometru acustic, fiind o metodă mult mai ușoară și rapidă. În urma analizei datelor s-a observat o asociere sugestivă între rezultatele de la rinometrie nazală cu rata de ventilare.

Se poate concluziona că o rată scăzută de aer proaspăt este asociată cu creșterea absenteismului în școli și apariția simptomelor respiratorii.

Multe studii au raportat în școli o rată de ventilare deseori sub standard. Standardele și normele: ASHRAE 62/1:2007 recomandă pentru săli de lectură – 17

$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$, RSECE Dec-Lei 79/2006, Portugal – $30 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$, Building Bulletin 101 v1.5-5th July 2006, United Kindom – $(10,8-28,8) \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$, RSDTYP reglement Sanitaire Departemental Type, France - $15 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$ pentru școli primare respectiv $18 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$ pentru licee, Finnish Building Code, Part D2, indoor Climate and Ventilation, Requirements and Guidelines 2003/ Danish Building Code – $21,6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$, EN 15251:2007 - $36 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$ pentru clădiri de categoria I, $25,2 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$ pentru clădiri de categoria II respectiv $14,4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pers}$ pentru clădiri de categoria III. [Alfano, 2010].

3.2.3 Determinarea confortului termic prin măsurători obiective și subiective

În acest subcapitol se dorește verificarea și asigurarea condițiilor de confort ambiental din spațiile de învățământ, prin măsurători în condiții reale ale principalilor parametri care intră în relația de calcul a indicilor de confort termic PMV respectiv PPD. Acești indicatori au fost determinați subiectiv utilizând programului de calcul din Anexa D a normativului ISO 7730:2006. Determinarea obiectivă a confortului termic s-a realizat analizând rezultatele chestionarelor completate de către fiecare student în parte.

3.2.3.1 Date generale privind locația și modul de calcul

Studiul s-a realizat în localitatea Timișoara, situată în partea de vest a României la intersecția paralelei de $45^{\circ}47'$ latitudine nordică, cu meridianul de $21^{\circ}17'$ longitudine estică cu un climat temperat - continental, cu o medie anuală a temperaturii exterioare de $11,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [Wikipedia, 2010].

Măsurătorile s-au realizat la parterul Facultății de Construcții din cadrul Universității "POLITEHNICA" din Timișoara - figura 3.1. În perioada de vară (lunile mai - iunie) în care temperatura exterioară medie a aerului a fost de $17,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ și în perioada de iarnă (lunile decembrie - ianuarie) cu o temperatură medie a aerului exterior de $0,5^{\circ}\text{C}$.

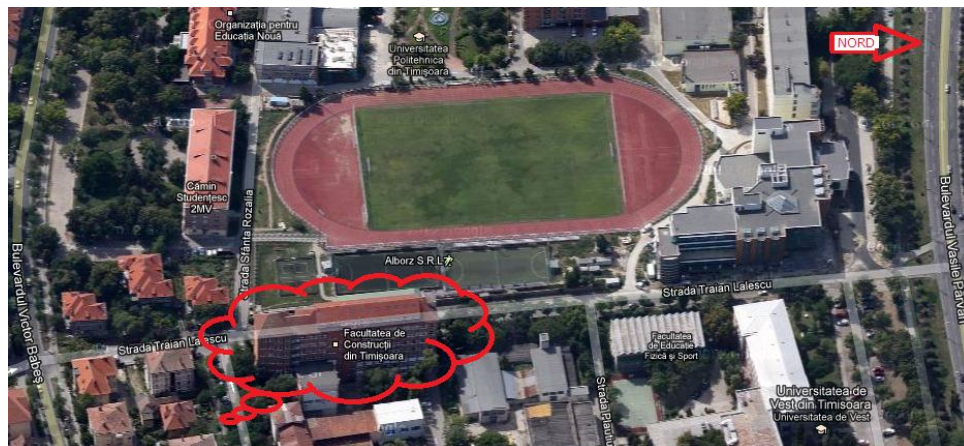


Figura 3.1. Amplasament clădire în zonă [Google, 2012]

Caracteristicile medii ale aerului din exterior [STAS 6648, 1982] la începutul și sfârșitul măsurărilor sunt: temperatura exterioară (23,9 – 24,8) [°C]; umiditatea exterioară (50,1 – 49,2) [%]; viteza aerului (1,6 – 2,5) [m/s]; nivelul de CO₂ (360 – 361) [ppm] pentru perioada de vară și temperatura exterioară (1,9 – 9,0) [°C]; umiditatea exterioară (73,5 – 54,7) [%]; viteza aerului (1,31 – 0,73) [m/s]; CO₂ (445 – 449) [ppm] pentru perioada de iarnă

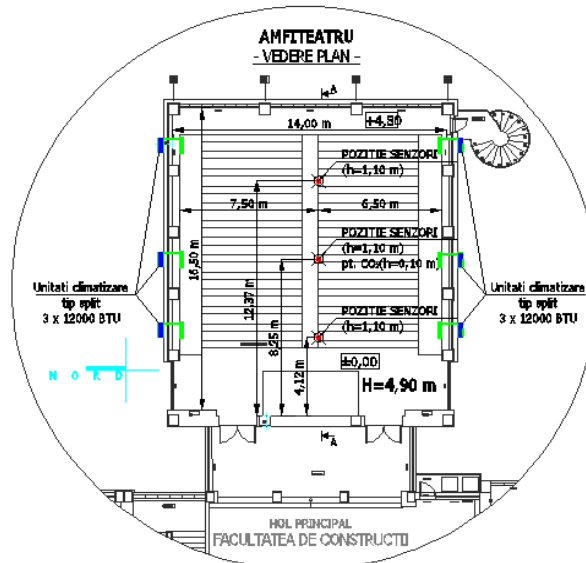
Sala are dimensiunile în plan (16,50x14,00) m și o înălțime de 4,90 m, și o înclinare față de orizontală de 18°02' vezi figura 3.2.; orientarea N-S corespunde laturilor lungi ale amfiteatrului.

Pe timpul verii asigurarea unei temperaturi mai scăzute se realizează cu ajutorul unităților de climatizare tip split montate pe cele două laturi lungi exterioare deasupra ferestrelor, iar pe timpul iernii asigurarea unei temperaturi mai ridicate se realizează cu ajutorul corpurilor de încălzire montate pe laturile exterioare sub ferestre.

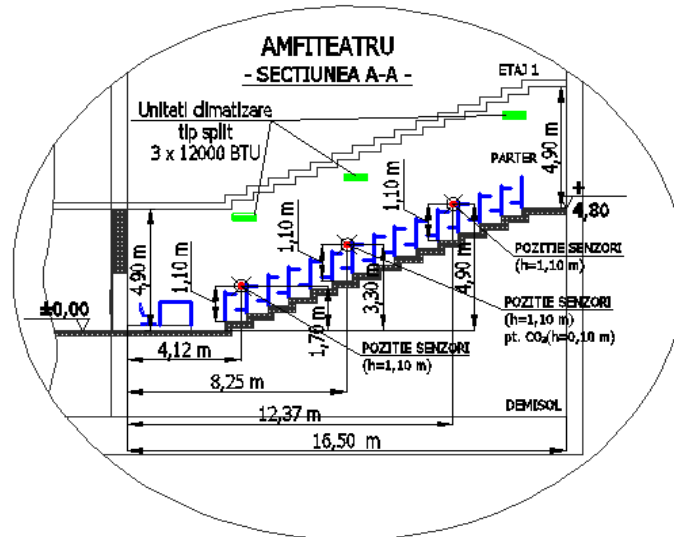
Pentru studiul privind nivelul de confort termic al ocupanților s-a ales varianta în care au fost un număr de 40 de studenți în sală. În timpul studiului, atât pe perioada de vară cât și cea de iarnă studenții erau în timpul examenelor de an. În ambele situații durata examenului a fost de 2,5 h, dar după o oră și jumătate, de la începerea examenului, o parte dintre studenți au început să părăsească sala [Păcurar, 2011b].

Monitorizarea parametrilor: temperatura aerului, temperatura medie radiantă, viteza aerului, umiditatea relativă și conținutul de dioxid de carbon (CO₂) s-a făcut pe tot parcursul celor 2,5h.

Condițiile de exploatare ale spațiului au fost cele „normale”/ „uzuale” fără posibilitate de control/ intervenție termică, regimul interior rezultând din acțiunea directă a parametrilor climatici exteriori. Schimbul de aer cu mediul exterior, pe durata măsurărilor, s-a făcut în sistem de ventilare natural (rosturi ale tâmplăriei și ferestre).



a)



b)

Figura 3.2. Poziția senzorilor a) în plan b) în secțiune

Măsurătorile s-au realizat cu ajutorul a 4 instrumente de măsură:

1.) **Testo 350**, la care s-au conectat senzor pentru măsurarea concentrației de CO_2 , senzor pentru măsurarea vitezei (fir cald), umiditate și temperatură, globul negru pentru determinarea temperaturii radiante;

2.) **Testo 435**, la care s-a conectat senzor pentru măsurarea vitezei (fir cald) și temperatura;

3.) **Kimo AMI 300**, la care s-a conectat senzor pentru măsurarea vitezei (fir cald), umiditate și temperatură.

Montarea senzorilor de măsurare pentru temperatură, viteză și umiditate s-a făcut doar pe un singur nivel la înălțimea de 1,10 m față de pardoseală, iar senzorul pentru măsurarea concentrației de CO_2 la înălțimea de 0,10 m față de pardoseală (poziții de amplasare prezentate în figura 3.2 a), 3.2 b)).

Pe durata măsurătorilor experimentale pot fi luate în considerare următoarele tipuri de erori: erori sistematice (erori de instrument și de metoda de măsură), erori aleatoare (erori de instrument – valori diferite la aceleași condiții) și greșeli (datorită operatorului). Erorile sistematice și aleatoare au fost eliminate prin verificarea metrologică a aparatelor utilizate. Pentru a elimina eroarea de citire cauzată de diferența tipului și modelului de aparat, pe parcursul măsurătorilor, poziția aparatelor a fost schimbată între ele la interval de 10 minute.

Pentru determinarea temperaturii pe suprafața peretelui exterior pe perioada rece a anului, s-a realizat termografierea acestuia atât din interiorul încăperii cât și de la exterior cu ajutorul unui aparat de termograf model **FLIRC BCAM**.

La ieșirea din sală fiecare ocupant a primit un chestionar prin care și-a exprimat opinia asupra condițiilor climatice din sală.

Chestionarele au fost structurate în 3 părți:

a). în prima parte sunt date generale ale subiecților – vârsta, sex,

îmbrăcăminte, tipul activității;

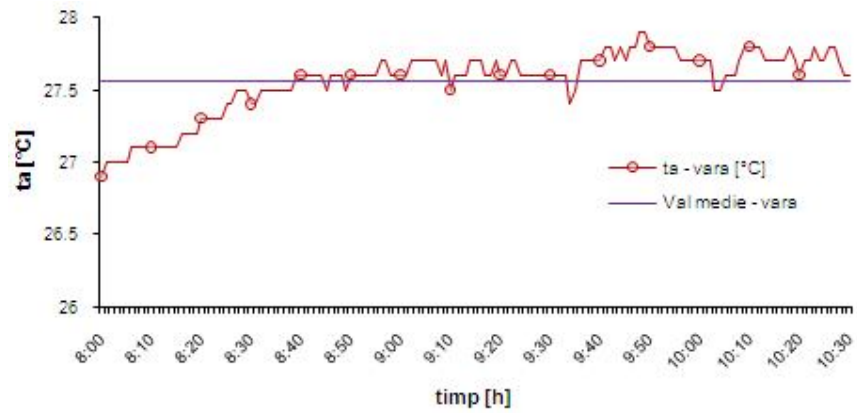
b). în a doua parte este structurată percepția subiecților asupra senzației confortului privind: temperatura, viteza aerului, umiditate, iluminat și zgomot;

c). iar a treia parte cuprinde date privind parametrii exteriori – date completate de către autor.

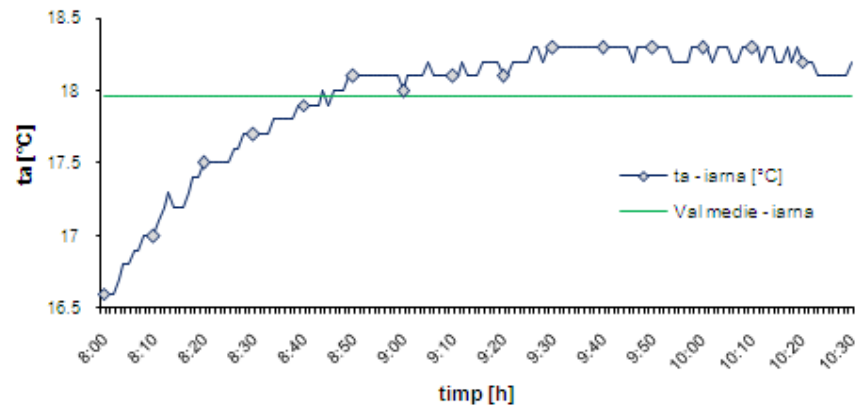
În urma chestionarelor s-a observat că persoanele au fost mult mai sensibile la variațiile de temperatură decât la variațiile de umiditate.

3.2.3.2 Rezultatele măsurătorilor efectuate

Din figura 3.3 se poate observa că temperatura aerului a prezentat o creștere accentuată în primele 30 minute, atât în perioada de vară cât și în perioada de iarnă, după care a păstrat o valoare relativ mai constantă.



a)



b)

Figura 3.3. Variația temperaturii la nivelul +1,10m a) în timpul verii și b) în timpul iernii

Variația umidității relative a aerului interior a fost în limitele confortului conform standardului ASHRAE 55, variind foarte puțin în jurul valorii de $(50,9 \pm 0,74)\%$ în timpul verii și în jurul valorii de $(44,1 \pm 0,50)\%$ în timpul iernii, vezi figura 3.4.

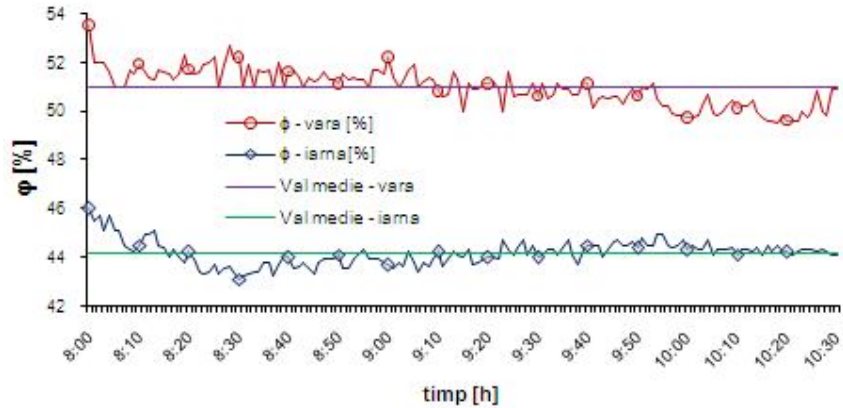


Figura 3.4. Variația umidității relative la nivelul de 1,10 m a) în timpul verii și b) în timpul iernii

Viteza aerului în încăpere a fost destul de mică, având o valoare medie de 0,05 m/s în ambele situații, cu maxime sub valoarea de 0,23 m/s în timpul verii respectiv 0,17 m/s în perioada rece, conform figurii 3.5.

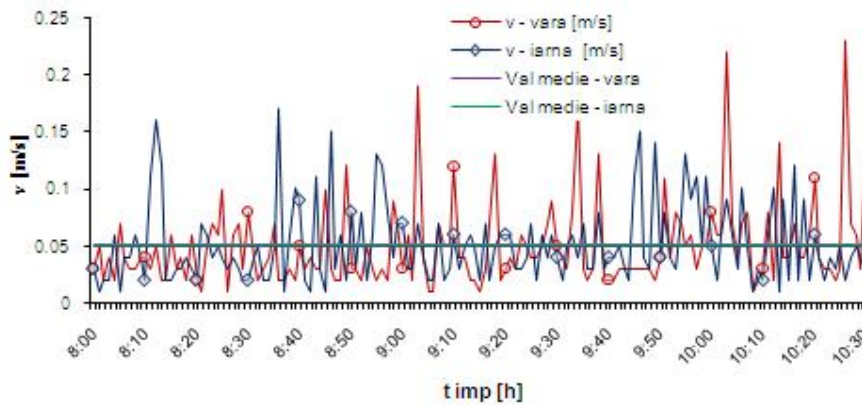


Figura 3.5. Variația vitezei aerului a) în timpul verii și b) în timpul iernii

Ținând seama că amfiteatrul nu este dotat cu sistem de ventilare mecanică, din figura 3.6, se poate observa cum concentrația de CO_2 a crescut ajungând la

limita maximă admisă având o valoare de aproximativ 1450 ppm în timpul iernii, față de situația din timpul verii când concentrația de CO₂ a variat în limite mai restrânse cu o medie de 670 ppm. Valoarea mai mică a concentrației de CO₂ în perioada de vară se datorează deschiderii ferestrelor, lucru bun pentru asigurarea aerului proaspăt, dar nu și pentru menținerea unei temperaturi în limitele confortului termic în lipsa unei instalații de climatizare.

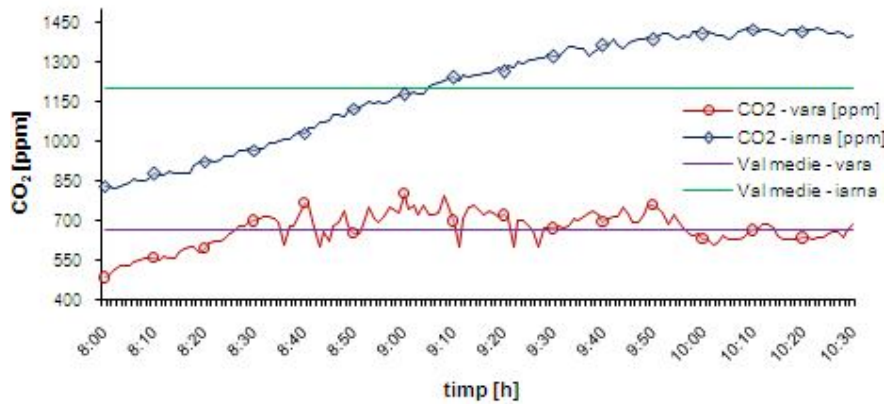
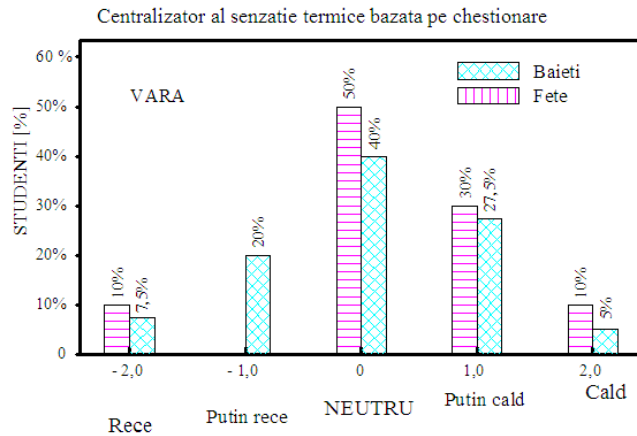
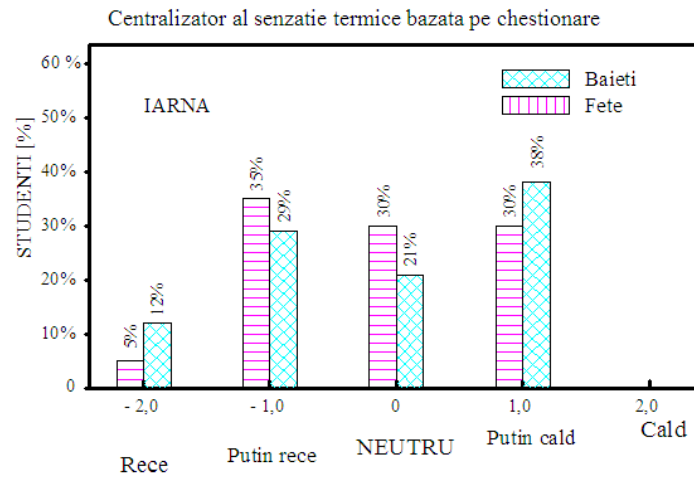


Figura 3.6. Variația concentrației de CO₂ la nivelul de 0,10 m a) în timpul verii și b) în timpul iernii

La sfârșitul fiecărei măsurători s-au completat de către studenți chestionare pentru a-și exprima senzația de confort termic percepută de fiecare în parte și senzația percepută asupra calității aerului interior. Un centralizator cu aceste rezultate este prezentat în fig. 3.7, respectiv fig. 3.8.



a)



b)

Figura 3.7. Centralizator al senzației termice a) vara b) iarna bazat pe chestionare

Din centralizarea chestionarelor privind senzația termică a studenților s-a observat un grad de mulțumire mai mare în perioada de vară, majoritatea exprimând opțiunea de neutru. De asemenea se observă că în perioada de iarnă diferența de temperatură pe intervalul în care s-au realizat aceste măsurători, este mai mare comparativ cu diferența de temperatură pe timpul verii, ceea ce a condus la un procent mai ridicat al studenților care și-au exprimat opțiunea de „puțin rece” și „puțin cald”.

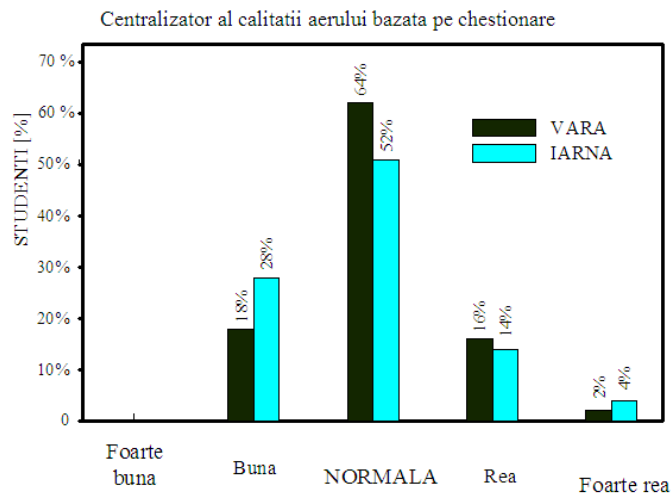


Figura 3.8. Centralizator al calității aerului din interior a) vara și b) iarna bazat pe chestionare

Majoritatea respondenților au considerat calitatea aerului din interior ca fiind

una normală. Nici un ocupant nu și-a exprimat senzația asupra calității aerului ca fiind una foarte bună.

Ocupanții au fost mult mai sensibili la variațiile de temperatură în exprimarea confortului decât cele legate de calitatea aerului.

În figura 3.9 se prezintă variația temperaturii aerului pe suprafața peretelui exterior din partea de nord în perioada rece, temperatura medie pe suprafața interioară fiind destul de apropiată de temperatura măsurată a aerului interior.

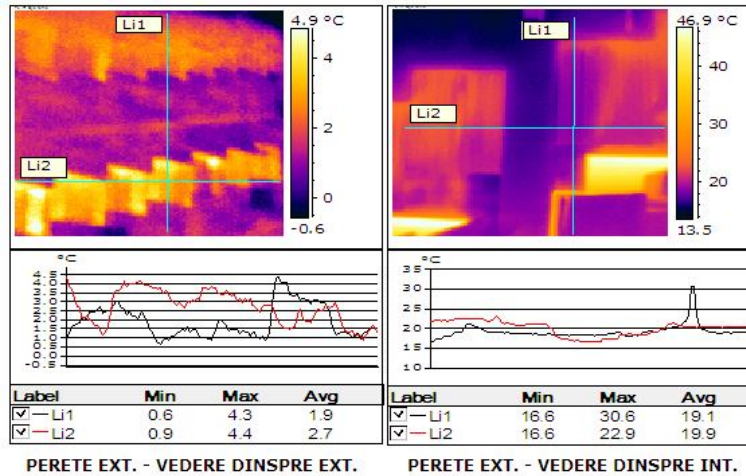


Figura 3.9. Variațiile temperaturii pe suprafața peretelui exterior atât la exterior cât și la interior

La calculul indicilor PMV și PPD după modelul Fanger s-a estimat activitatea ocupanților ca fiind una sedentară - 1,2 met ($69,84 \text{ W/m}^2$), rezistența termică a îmbrăcămînții de 0,5 clo ($0,078 \text{ m}^2\text{C/W}$) în timpul verii respectiv cu o rezistență termică a îmbrăcămînții de 1,0 clo ($0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$) în timpul iernii.

Pentru determinarea rezistenței termice a îmbrăcămînții s-a utilizat tabelele conținute în standardele ASHRAE 55-2004 și ISO 7730, considerând valoarea medie a acestora.

Un centralizator al datelor medii măsurate/ calculate și al rezultatelor obținute în urma evaluării chestionarelor este prezentat în tabelul 3.2.

Tabel 3.2. Centralizator al valorilor medii pentru PMV, PPD pentru perioada de vară respectiv iarnă

	VARA	IARNA
PMV analitic	0,87	-0,84
PPD calculat [%]	21	20
PMV subiectiv	Neutru/ Puțin cald	Puțin rece/ Neutru

3.3 Concluzii parțiale

Monitorizarea celor patru parametri fizici: temperatura, temperatura medie radiantă, viteza aerului, umiditatea și concentrația de CO₂, s-a realizat într-un interval de 2,5 ore în perioada caldă (Mai, Iunie) și în perioada rece (Decembrie, Ianuarie).

Condițiile termice în sala de curs au fost satisfăcătoare, ocazional s-au înregistrat condiții calde/ reci neplăcute, nici o condiție fierbinte/ foarte rece nu a fost observată (simțită).

Diferența de temperatură pe verticală nu a depășit valoarea de 3°C pentru a cauza disconfort termic local pentru ocupanți.

Viteza aerului a fost în general prea mică pentru a cauza disconfort datorită curentului de aer.

Niveluri mari de CO₂ s-au datorat schimbului redus de aer exterior. Ferestrele de termopan instalate, de asemenea permit un debit foarte mic de aer infiltrat. Ferestrele „clasice” permiteau infiltrații de aer asigurând aerul proaspăt.

Variațiile temperaturilor înregistrate se datorează lipsei controlului sistemului de HVAC. În perioada de iarnă pentru a compensa degajările de căldură se recurgea la deschiderea ferestrelor, care inevitabil au contribuit negativ la pierderile de energie și au mărit necesarul de căldură pentru încălzirea spațiilor. Relația între senzația termică și procentul de nemulțumiți a fost în concordanță cu modelul Fanger de predicție.

Cu sistemul de climatizare tip split se obține doar menținerea temperaturii aerului interior în condițiile de confort fără a putea regla calitatea aerului interior;

La proiectarea sălilor (de curs) cu un număr mare de ocupanți – amfiteatre, aula magna etc. obligatoriu vor fi prevăzute, din proiect cu sistem de ventilare mecanic pentru asigurarea rației de aer proaspăt și pentru limitarea concentrației de CO₂

Niveluri similare cu concentrații ridicate sunt întâlnite în școlile din România și de peste hotare.

Pentru reducerea consumului de energie, centralele de tratare a aerului vor fi prevăzute cu turajie variabilă și cu clapete de amestec comandate de un senzor CO₂/ VOCs;

În perioada de vară în care temperatura exterioară pe timpul nopții este mult mai mică (aprox. 18 °C) decât temperatura exterioară din timpul zilei (peste 25°C), pentru economia de energie centralele de tratare a aerului pot fi dotate cu automatizare care să aibă funcția de „aerisire de noapte”, astfel reducând necesitatea de răcire din timpul zilei.

Condițiile de exploatare ale spațiului au fost fără posibilitate de control termic, regimul interior rezultând din acțiunea directă a parametrilor climatici exteriori. Schimbul de aer cu mediul exterior, pe durata măsurătorilor, s-a făcut în sistem de ventilare natural (rosturi ale tâmplăriei și ferestre).

La evaluarea confortului termic diferit pe sexe, majoritatea au concluzionat că femeile sunt mult mai sensibile la variațiile climatice interioare decât bărbații.

Conform măsurătorilor realizate se poate observa o creștere accentuată a temperaturii aerului interior în primele 30 minute atât pe perioada de vară, respectiv iarnă. Creșterea pe perioada de vară în prima jumătate de oră este de 0,5°C, iar pe perioada de iarnă de 1,5°C.

Umiditatea relativă în timpul verii a avut o valoare medie de 50,9%, iar în timpul iernii de 44,1%, valori încadrate în recomandările din literatura de

specialitate [SR EN ISO 7730, 2006], [ASHRAE 55, 2004].

Viteza aerului la interior a avut o valoare medie de 0,05 m/s, cu maxime sub valoare de 0,23 m/s pe perioada de vară respectiv 0,17 m/s pentru perioada de iarnă.

Valoarea concentrației de CO₂ a prezentat o creștere constantă pe toată perioada măsurărilor în timpul iernii, și o variație mai constantă în timpul verii datorită deschiderii ferestrelor.

Din centralizarea chestionarelor privind senzația termică a studenților s-a observat un grad de mulțumire mai mare pe perioada de vară.

4. SIMULAREA CONFORTULUI TERMIC UTILIZÂND PROGRAMUL DE CALCUL TRNSYS

4.1 Programe de simulare a eficienței energetice a clădirilor și confortului ambiental

Pentru simularea eficienței termice a clădirilor și a gradului de confort termic există mai multe programe. Aceste programe pot obține prin simulare cererile specificate de utilizator. Acestea sunt instrumente de bază particulare în industria construcțiilor pe toată durata de realizare a proiectului și sunt utilizate de unii proiectanți de cele mai multe ori pentru a identifica și clasifica clădirile. Principalii factori determinanți ai performanței unei clădiri sunt aporturile sau pierderile de căldură prin elementele de construcție cum sunt pereții, ferestrele, plafonul (tavanul) sau pardoseala, degajările interne sau rata de ventilare. Performanța energetică se poate face cu ajutorul softurilor comparând diferitele opțiuni cum ar fi geometria clădirii, caracteristicile termice ale materialelor de construcții, timpul de utilizare etc. În tabelul 4.1 sunt descrise un pachet scurt de programe utilizate la simularea eficienței energetice și a gradului de confort [Energy, 2012].

Tabel 4.1. Programe pentru simularea eficienței energetice a clădirilor

<i>Denumire program/ Dezvoltator</i>	<i>Caracteristici</i>
DOE-2 Laboratorul Național „Lawrence Berkeley” – 1995, 1999 California	Acest program analizează eficiența energetică precizată în proiectare sau prin tehnologiile noi utilizate în clădiri. Calculează performanța energetică orară pe ansamblul clădirii precum și costul pe ciclul de viață al clădirii. Alte utilizări includ managementul utilităților și programe de reducere conform standardelor energetice. Website: http://simulationresearch.lbl.gov
ECOTECT „Research in the Built Environment” Marea Britanie	Program cu o comportare simplă, precisă cu un răspuns vizual. Este un program complet de proiectare a mediului care îmbină o interfață intuitivă 3D cu funcții extinse: solare, termice, de iluminat, acustice și de analiză a costurilor. Website: http://www.squ1.com

<i>Denumire program/ Dezvoltator</i>	<i>Caracteristici</i>
<p>EnergyPlus Laboratorul Național „Lawrence Berkeley” – 1995, 1999 California</p>	<p>Program de de simulare energetică a clădirilor bazat pe cele mai populare trăsături și capacități ale programului DOE-2 și BLAST. Include capacități de simulare cu pași de timp mai mici decât o oră, module de simulare a sistemului integrate cu o zonă de simulare bazată pe bilanțul de căldură, și structuri de date de intrare și ieșire croite pentru a ușura dezvoltarea interfețelor spre terțe părți. Alte capacități de simulare planificate includ simularea multi-zonală a curenților de aer termali solari și simularea energiei electrice incluzând sistemele fotovoltaice și celulele de combustibil. Website: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus</p>
<p>ESP-r Universitatea „Strathclyde James” Marea Britanie</p>	<p>Acest program simulează eficiența energetică a clădirilor determinând următoarele variabile: consumul de energie (sarcina de încălzire/ răcire), confortul termic, temperaturile interioare, calitatea aerului interior și iluminatul. Website: http://www.esru.strath.ac.uk/</p>
<p>TAS EDSL & BTS Marea Britanie</p>	<p>Este un soft pentru analiza termică și energetică a clădirilor. Programul permite modelarea 3D cu legături CAD, CFD (Computational Fluid Dynamics). De asemenea generează cu ușurință rapoarte. Programul simulează performanța termică a clădirii și este o unealtă de proiectare pentru optimizarea mediului clădirii, energiei și realizarea confortului. Website: http://www.edsl.net/</p>
<p>TRNSYS Laboratorul de energie solară 1996) Madison, Wisconsin Statele Unite ale Americii</p>	<p>Cu acest program se simulează performanța unui sistem prin examinarea fiecărui component interconectat în sistem. Programul include o interfață grafică, cu un motor de simulare și o bibliotecă de componente predefinite care conțin diferite modele de clădiri și instalații clasice, precum și utilizarea de energii regenerabile sau tehnologii noi. Programul TRNSYS permite crearea de noi componente care nu sunt incluse în pachetul standard. Acest pachet de simulare este folosit pentru a analiza și dimensiona instalațiile HVAC, analiza multi-zonală a scurgerii aerului, simularea energiei electrice, solare, comportamentul termic al clădirilor etc. Website: http://www.trnsys.com/</p>

4.2 Prezentarea programului de simulare TRNSYS

4.2.1. Noțiuni generale ale programului

Pentru simularea temperaturii într-un mediu ambiant, cât și a indicilor de confort termic PMV și PPD s-a utilizat programul de simulare a sistemelor tranzitorii – TRNSYS (TRaNsient System Simulation - Program de Simulare a Sistemelor

Tranzitorii). Acesta este un program de simulare energetică bazat pe metoda sistemelor modulare, incluzând o interfață grafică, un motor de simulare și o bibliotecă de diferite componente pentru clădiri, utilaje și echipamente.

Versiunea utilizată în acest studiu este TRNSYS 16.01.0003, care a fost dezvoltată de Laboratorul de Energii Solare de la Universitatea „Wisconsin – Madison” din Madison, USA 2006. Varianta comercială a acestui program este disponibilă din anul 1975.

Programul TRNSYS are aplicații în următoarele domenii [TRNSYS, 2006a]:

- sisteme solare (termice și fotovoltaice);
- clădiri cu instalații HVAC cu consum redus de energie (ventilare naturală, încălzirea și răcirea suprafețelor perimetrare, fațade duble etc.);
- sisteme de energii regenerabile;
- celule de combustie obținute prin cogenerare;
- orice sistem ce necesită simulare dinamică.

Aplicația TRNSYS include:

TRNSYS Simulation Studio – o interfață grafică care găzduiește toate aspectele de simulare;

TRNBuild – o interfața grafică care cuprinde datele de intrare pentru descrierea unei clădiri ca o singură zonă sau multi - zonă;

TRNEdit - un editor al datelor de intrare;

TRNEXE

Grafică ONLINE – de prezentare a rezultatelor

TRNSYS este un program flexibil deoarece modelează o varietate de sisteme energetice care au diferite grade de complexitate, împărțindu-le în mai multe subsisteme cu o mai mică complexitate, care pot fi rezolvate mai ușor. La acest sistem pe lângă simularea modulară observăm că anumite componente fac parte din mai multe sisteme, ele fiind detaliate la modul general o singură dată, iar pe parcursul utilizării acestor sisteme li se pot face mici modificări.

Simularea comportamentului energetic al clădirilor necesită parametri relevanți de proiectare și condiții reale de funcționare. Cantitatea de date necesară și acuratețea rezultatelor variază în funcție de simplificări și de tehnicile de analiză utilizate.

S-au identificat șapte domenii majore relevante pentru simularea consumului energetic al clădirilor: a) amplasarea clădirii; b) descriere clădire; c) date climatice; d) anvelopa clădirii; e) aport solar; f). sisteme HVAC; g). sisteme suplimentare.

Sistemele sunt compuse din mai multe componente, fiecare componentă în parte este creată pe baza unui model matematic și este denumită în program ca și „Type”, (de exemplu Type109).

Caracteristicile clădirilor se modifică și se realizează cu ajutorul TRNBuild.exe. Astfel se poate vedea/edita structura clădirii, comportamentul termic al clădirii (în funcție de suprafețele vitrate, regimul de încălzire/răcire).

Simularea are ca rezultat realizarea unor grafice între parametrii studiați. Citirea datelor se poate face prin oprirea simulării într-un anumit moment și repornirea ulterioară a acesteia.

4.2.2. Subrutine ale programului

Programul cuprinde mai multe subrutine pentru a controla simularea și calculul modelelor matematice ale componentelor sistemului. Aceste subrutine ale

modelelor matematice de componente se calculează într-o anumită secvență distinctă. Un Type [TRNSYS, 2006a] este descris de o componentă predefinită sau una nou creată care simulează caracteristicile și evoluția unui element real (sistem fotovoltaic, schimbătoare de căldură, turnuri de răcire, pompe etc.) și/sau poate rezolva o serie de operații matematice.

Orice componentă poate fi utilizată o dată sau de mai multe ori în cadrul aceleiași aplicații, cu atribuirea unui număr de ordine pentru a putea stabili succesiunea operațiilor în cadrul programului. Fiecărui număr de identificare al componentei îi corespunde o subrutină Fortran.

Cele mai importante două componente ale unui sistem sunt: cea care conține datele meteo ale zonei în care se situează sistemele (Type 109) și cea a datelor clădirii (Type 56).

Type 109 are scopul principal de a citi date meteorologice, la intervale de timp regulate dintr-un fișier de date, convertindu-le într-un sistem de unități dorite, generând valori ale radiației solare directe și difuze pentru un număr arbitrar de suprafețe cu orientare și înclinare arbitrară.

Type56 definește detaliat caracteristicile și comportamentul termic al fiecărei zone.

Componentele datelor clădirii multizone nu se definesc în fișierul de intrare TRNSYS, lor li se atribuie două fișiere. Aceste fișiere sunt: unul care cuprinde informații despre descrierea clădirii și un al doilea care cuprinde funcția de transfer definită în ASHRAE.

Etapele de definire ale caracteristicilor clădirii sunt [TRNSYS, 2006a]:

- Definirea zonelor
- Conexiunea între zone;
- Caracteristicile zonelor (nume, înălțime, lungime, lățime);
- Orientarea clădirii și suprafețele vitrate;
- Selectarea locației pentru datele meteorologice;
- Infiltrații prin neetanșeități și tipul de climatizare;
- Sisteme de încălzire și răcire;
- Aporturi (aporturi specifice de la persoane, iluminat, alte surse);
- Umbrire fixă sau mobilă;
- Finalizarea definirii clădirii și concretizarea proiectului.

O clădire poate fi definită cu ajutorul lui TRNBuild care definește caracteristicile și comportamentul termic al clădirii multizonale. Conceptul de „multizone building” poate fi văzut/modificat ca o clădire alcătuită din maxim 25 de zone care pot influența comportamentul termic al clădirii.

În programul de simulare, TRNStudio, clădirea multizonală este definită sub forma unui singur parametru, având denumirea de TYPE56.

Începerea unui proiect nou de clădire se face cu definirea [TRNSYS, 2006b]:

- informațiilor generale
- orientării geografice a pereților
- intrărilor adiționale
- ieșirilor dorite în final

TRNBuild este un program utilizat pentru a introduce date de intrare pentru clădirile multizone. Acesta permite specificarea detaliată a elementelor de anvelopă ale clădirii, și tot ceea ce este necesar pentru a simula comportamentul termic al clădirii, cum ar fi proprietățile optice ale ferestrei, programul de funcționare al echipamentelor, tipul de ventilare etc.

Întreaga capacitate termică a unei zone este reprezentată de un singur nod

de temperatură. Clădirea este împărțită într-o rețea de noduri cu legături de interconectare prin care se realizează transferul de energie. Pentru a se lua în calcul această legătură trebuie definit sistemul de ventilare astfel încât un debit egal de aer să revină în zona din care a plecat. Schimburile de aer interzonale pot fi conform figurii de mai jos: interzonal, în cruce sau circulare.

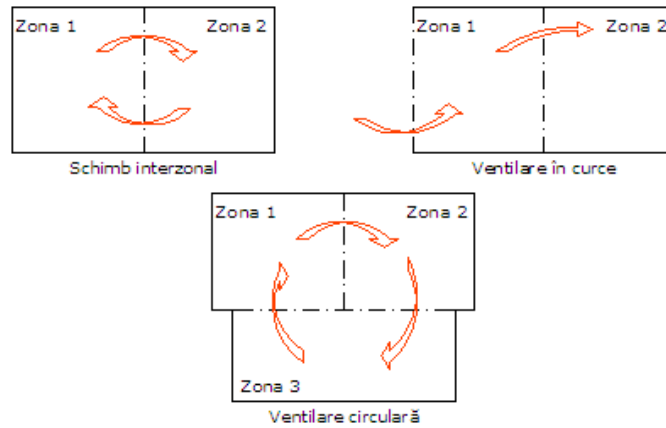


Figura 4.1. Schimburi de aer interzonale

Modelarea zonelor termice presupune rezolvarea ecuației de bilanț termic.

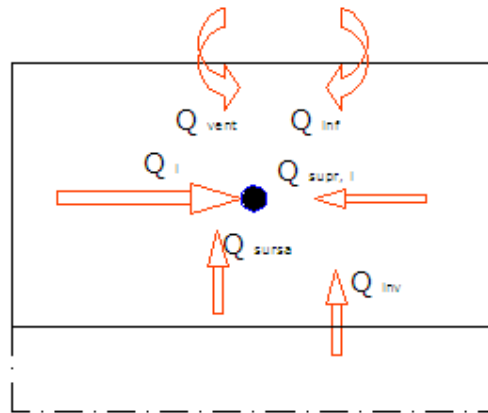


Figura 4.2. Bilanțul termic al unui nod de temperatură corespunzător unei zone

4.2.3. Fluxul termic convectiv în nod

$$Q_i = Q_{vent} + Q_{inf} + Q_{surse} + Q_{inv} + Q_{sup,i}; \quad [W] \quad (4.1)$$

unde:

Q_{vent} - fluxul de căldură provenit de la debitul de aer introdus de un sistem de ventilare, [W]:

$$Q_{vent} = V \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (t_v - t_i); \quad [W] \quad (4.2)$$

Q_{inf} - fluxul de căldură provenit din infiltrații de aer din exterior, [W] :

$$Q_{vent} = V \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (t_e - t_i); \quad [W] \quad (4.3)$$

Q_{surse} - aporturi de căldură de la oameni, echipamente, iluminat etc., [W] :

Q_{inv} - fluxul de căldură provenit de la zonele învecinate încăperii :

$$Q_{inv} = V \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (t_{zonax} - t_i); \quad [W] \quad (4.4)$$

$Q_{sup,i}$ - fluxul de căldură provenit de la suprafețele interioare, [W] :

$$Q_{sup,i} = K \cdot S_p \cdot c_p \cdot (t_{s,i} - t_i); \quad [W] \quad (4.5)$$

unde:

V – volumul zonei, [m³];

ρ_a - densitatea aerului, [kg/m³];

c_p – căldura specifică a aerului, [kJ/kg·°C];

t_i – temperatura aerului din zona i, [°C];

t_v – temperatura aerului introdus prin ventilare, [°C];

t_e – temperatura aerului exterior, [°C];

t_{zonax} – temperatura aerului din zona x, [°C];

$t_{s,i}$ – temperatura suprafețelor interioare, [°C].

4.2.4. Fluxul termic radiant în nod

Fiecare corp emite radiații, influențând distribuția de temperatură a zonei în care se află. Fluxul termic radiant incident pe suprafața unui perete este absorbit, reflectat și transmis prin corpul respectiv.

Aporturile provenite de la radiațiile solare sunt o problemă importantă în domeniul construcțiilor și instalațiilor. Luând în considerare radiațiile solare, fluxul de căldură radiativ într-un anumit punct din interiorul unei încăperi este calculat în funcție de următorii factori:

- $Q_{r,p}$ - aporturi prin radiație în nodul(punctul) de pe perete [W]
- $Q_{g,p}$ - aporturi prin radiație primite de perete [W]
- $Q_{sol,f}$ - aporturi solare prin radiație prin ferestre [W]
- Q_{p-f} - schimburi de căldură radiative între pereți și ferestre [W]
- Q_{pres} - fluxul de căldură prestabilit pe perete sau fereastră [W]

$$Q_{r,p} = Q_{a,p} + Q_{sol,f} + Q_{p-f} + Q_{pres}; \quad [W] \quad (4.6)$$

4.2.5. Transferul global de căldură

Caracteristica cantitativă a procesului general de schimb de căldură îl constituie coeficientul global de transmisie a căldurii K sau rezistența termică globală R .

În regim staționar, schimbul de căldură se exprimă sub forma:

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta t; \quad [W] \quad (4.7)$$

sau,

$$Q = \frac{(S \cdot \Delta t)}{R}; \quad [W] \quad (4.8)$$

unde:

Δt - diferența de temperatură [$^{\circ}\text{C}$];

S - suprafața de schimb de căldură [m^2];

K - coeficientul global de transmisie a căldurii printr-un perete plan, compus din mai multe straturi, dat sub forma:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}}; \quad [W / \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}] \quad (4.9)$$

Exprimând rezistența termică ca fiind:

$$R = \frac{1}{h_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}; \quad [\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / W] \quad (4.10)$$

unde:

h_{int} – coeficient de schimb superficial global la interior [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

h_{ext} – coeficient de schimb superficial global la exterior [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

δ – grosimea stratului de perete [m];

λ – conductivitatea termică a materialului [$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$].

4.2.6. Fluxurile de căldură prin perete și fereastră

În figura 4.4, se detaliază fluxurile de căldură și comportamentul termic corespunzător unui perete.

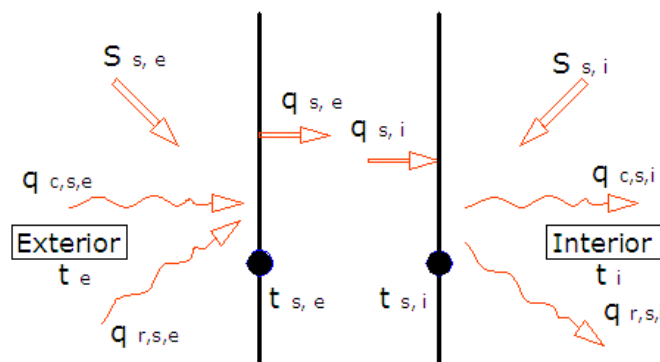


Figura 4.3. Fluxuri de căldură și temperaturi corespunzătoare suprafețelor interioare și exterioare la pereți [TRNSYS, 2006b]

$S_{s,i}$ – Fluxul de căldură radiativ absorbit la suprafețele interioare;
 $S_{s,e}$ – Fluxul de căldură radiativ absorbit la suprafețele exterioare;
 $q_{r,s,i}$ – Transferul de căldură net radiativ cu toate suprafețele interioare unei zone;
 $q_{r,s,e}$ – Transferul de căldură net radiativ cu toate suprafețele exterioare;
 $q_{s,i}$ – Fluxul de căldură conductiv de la interiorul peretelui la suprafața interioară;
 $q_{s,e}$ – Fluxul de căldură conductiv de la suprafața exterioară la interiorul peretelui;
 $q_{c,s,i}$ – Fluxul de căldură convectiv de la suprafața interioară la aerul interior;
 $q_{c,s,e}$ – Fluxul de căldură convectiv de la mediul exterior la suprafața exterioară;
 $t_{s,i}$ – temperatura suprafeței interioare;
 $t_{s,e}$ – temperatura suprafeței exterioare;
 t_i – temperatura în zona interioară (nodul de aer)
 t_e – temperatura aerului exterior

Modelele matematice din spatele ecuațiilor fluxurilor de căldură prin pereți se bazează pe funcția de transfer concepută de Mitalas și Arseneault, definită de la suprafață la suprafață.

În concluzie, pentru orice perete, fluxul de căldură prin conducție pe suprafețele interioare - $Q_{s,i}$ și exterioare $Q_{s,e}$ este:

$$Q_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k \cdot t_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k \cdot t_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \cdot q_{s,i}^k; \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W] \quad (4.11)$$

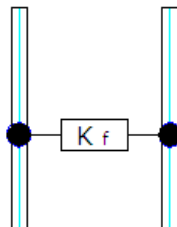
$$Q_{s,e} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k \cdot T_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k \cdot T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \cdot q_{s,e}^k; \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W] \quad (4.12)$$

unde:

k - coeficient care se referă la timpul în care se realizează măsurătoarea.

a_s, b_s, c_s, d_s - coeficienți care depind și ei de timp și care sunt determinați folosind funcția de transfer -z-.

Din punct de vedere termic o fereastră este considerată ca un perete extern fără masivitate termică, parțial transparent la aporturi solare dar opacă la aporturile interne de lungime mare de undă. Se consideră că absorbția radiațiilor de lungime mare de undă apare numai la suprafețe interioare. În calculul bilanțului de energie pentru type56, fereastra este definită ca un model alcătuit din 2 noduri (figura 4.5).



unde:
 K_f - coeficient de transfer termic prin fereastră, $[W/m^2^\circ C]$

Figura 4.4. Model de fereastră în 2 noduri folosită în componenta Type 56 pentru calculul bilanțului de căldură [TRNSYS, 2006b]

Aporturile totale de căldură la zona „i” de la toate suprafețele învecinate

este suma fluxurilor de căldură:

$$\begin{aligned}
 Q_{sup,i} = & \sum A_s \cdot q_{comb,i} = \sum_{j=1}^{zone,ad.} \sum_{j=1}^{sup.i.la.j} A_s \cdot B_s \cdot t_{centruj} + \\
 & + \sum_{j=1}^{sup.ext.} A_s \cdot B_s \cdot t_a + \sum_{j=1}^{per.int.} A_s \cdot B_s \cdot t_{centru} + \\
 & + \sum_{j=1}^{marg.cunosc.} A_s \cdot B_s \cdot t_{b,s} - \\
 & - \sum_{j=1}^{sup.inzonal} A_s \cdot (C_s \cdot t_{centruj} - D_s - S_{s,i}); \quad [W]
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

unde:

A_s - suprafața interioară a suprafeței s

Ambele suprafețe ale unui perete interior sunt considerate suprafețe interioare și trebuie incluse de două ori în ecuație.

Bilanțul de energie în nodul central, conform figurii 4.6, este:

$$Q_{sup,i} = 1 / R_{centru,i} \cdot (T_{centru,i} - T_i); \quad [W]
 \tag{4.14}$$

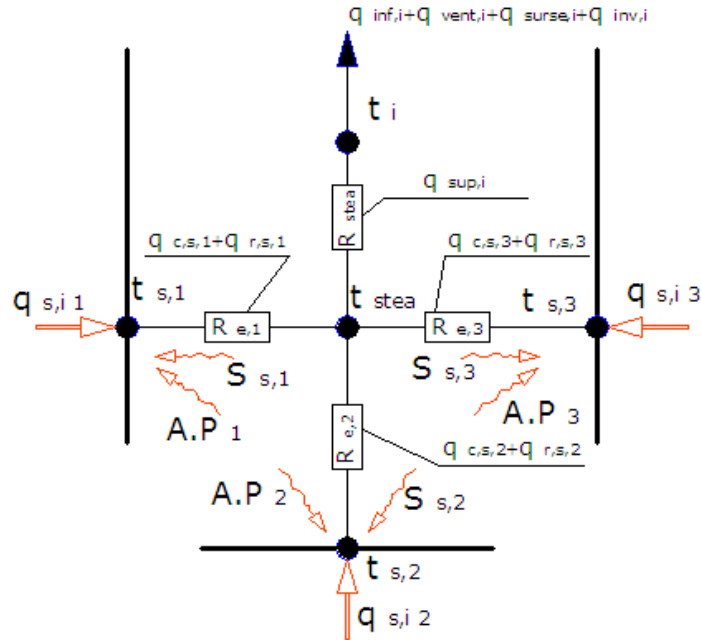


Figura 4.5. Rețeaua stea a unei zone cu trei suprafețe [TRNSYS, 2006b]

unde:

$q_{inf,i}$ - flux de căldură introdus prin infiltrații, [W/m²];
 $q_{vent,i}$ - flux de căldură introdus de un debit de aer prin ventilare, [W/m²];
 $q_{surse,i}$ - flux de căldură de la oameni, iluminat, echipamente etc., [W/m²];
 $q_{inv,i}$ - flux de căldură de la zonele învecinate, [W/m²];
 $q_{c,s,1}^{(2)(3)}$ - flux de căldură convectiv al suprafeței 1, 2 sau 3, [W/m²];
 $q_{r,s,1}^{(2)(3)}$ - flux de căldură radiant al suprafeței 1, 2 sau 3, [W/m²];
 $t_{s,1}^{(2)(3)}$ - temperatura suprafeței 1, 2 sau 3 [°C];
 $R_{e,1}^{(2)(3)}$ - rezistența [°C/W];

4.2.7. Schimburi de căldură convective prin infiltrații și ventilații

Valorile infiltrațiilor prin neetanșeități și a ratei de ventilare a unei zone a clădiri sunt date în schimburi de aer pe oră. Aporturile de energie ale unei zone datorate infiltrațiilor și ventilării sunt:

$$Q_{inf,i} = m_{inf,i} \cdot c_p \cdot (t_e - t_i); \quad [W] \quad (4.15)$$

$$Q_{v,i} = \sum^{vent} m_{v,i} \cdot c_p \cdot (t_v - t_i); \quad [W] \quad (4.16)$$

unde:

$m_{inf,i}$ - debitul masic de aer infiltrat, [kg/s];
 $m_{v,i}$ - debitul masic de aer ventilat, [kg/s];
 c_p - căldura specifică a aerului, [kJ/kg·°C];
 t_v - temperatura aerului introdus prin ventilare, [°C];
 t_e - temperatura exterioară, [°C].

Pentru fiecare perete sau fereastră care separă zone de temperaturi de transport sau pentru fiecare perete ce se află în contact cu exteriorul, se poate defini un schimb de căldură convectiv. Acest schimb este dat de debitul masic de aer care intră în zonă prin suprafața respectivă. O cantitate egală de aer este presupusă a părăsi zona la temperatura zonei respective. Aporturile totale de energie datorate schimbului convectiv între suprafață și aer este suma tuturor aporturilor pentru toți pereții și toate ferestrele din zonă:

$$Q_{cplg,i} = \sum^{z.ad.} \sum^{sup.i.la.j} m_{cplg,s} \cdot c_p \cdot (t_j - t_i) + \dots + \sum^m m_{cplg,s} \cdot c_p \cdot (t_m - t_i); \quad [W] \quad (4.17)$$

$m_{cplg,s}$ - debitul masic de aer care intră în zona „i” prin pereți sau ferestre, [kg/s].

4.3 Studii de caz

În acest subcapitol s-au realizat două studii de caz, fiecare având caracteristici diferite, ele fiind detaliate în cele ce urmează.

Principala activitate a fost aceea de a simula indicii de confort PMV, PPD pentru un amfiteatru cu ventilare naturală și cu variația numărului de persoane

4.3.1. Introducerea datelor în program

Principalele date de intrare necesare pentru efectuarea simulărilor sunt:

- definirea datelor climatice;
- stabilirea elementelor de construcție care delimitează încăperea;
- caracteristicile elementelor de anvelopă;
- scenariile de funcționare ale echipamentelor și programul de lucru

al angajaților;

- sursele interne de căldură;
- date privind sistemele de încălzire, răcire și ventilare;
- debitul de aer și temperatura aerului interior.

Datele clădirii și ale sistemului de ventilare și climatizare au fost transpuse prin intermediul pre-procesorului TRNBuild astfel:

Definirea elementelor de anvelopă conform figurii 4.7, s-a făcut pe orientări pentru fiecare element de anvelopă în parte, folosind materialele din librăria existentă.

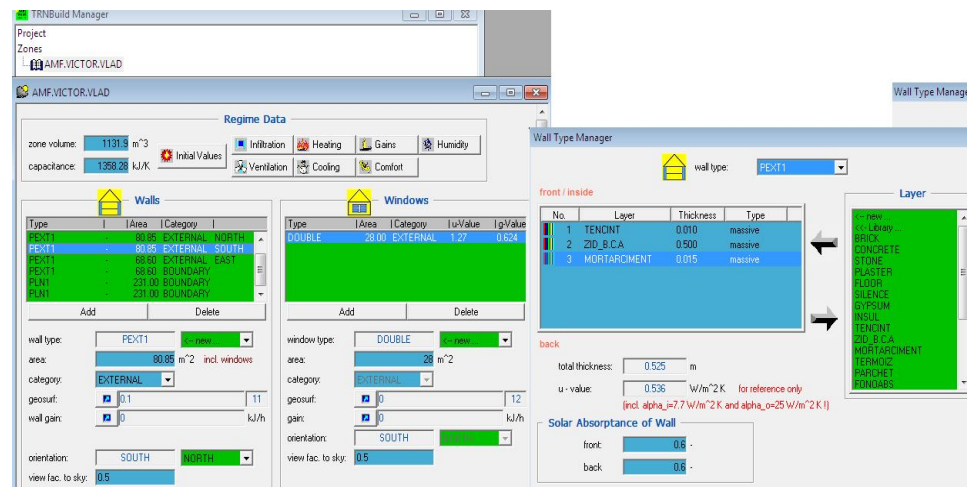


Figura 4.6. Definirea elementelor de anvelopa în TRNSYS 16, Type 56

Programul de funcționare se introduce din meniul Schedule, care permite definirea unor profile exacte de ocupare a clădirii, figura 4.8 profile ce pot fi folosite atât pentru determinarea degajărilor interioare de căldură cât și pentru stabilirea regimului de funcționare a sistemului de ventilare și climatizare.

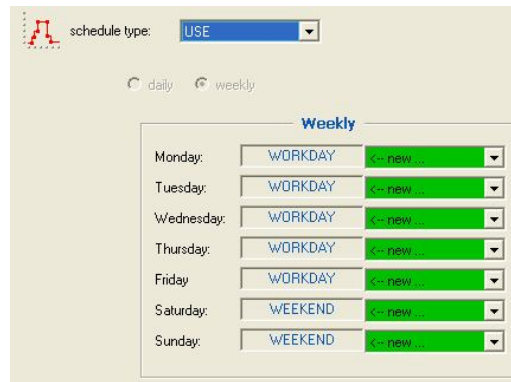


Figura. 4.7. Definirea profilului de ocupare al clădirii în TRNSYS 16, Type 56

Pentru studenți și aparatura electronică se definește același program de funcționare ca și în cazurile din capitolele anterioare, adică de luni până vineri, de la ora 9.00 la 18.00, figura 4.9

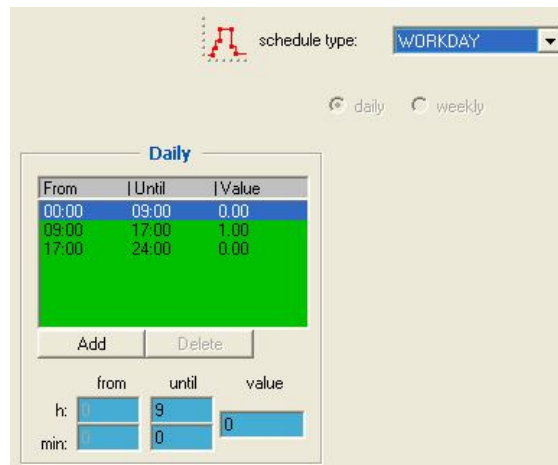


Figura 4.8. Definirea orarului profilului de ocupare al clădirii în TRNSYS 16, Type 56

Scenariu pentru iluminat este diferit față de cel pentru activitatea persoanelor, iluminatul fiind disponibil de luni până vineri, de la ora 8.00 la ora 10.00 și de la 16.00 la 18.00, figura 4.10.

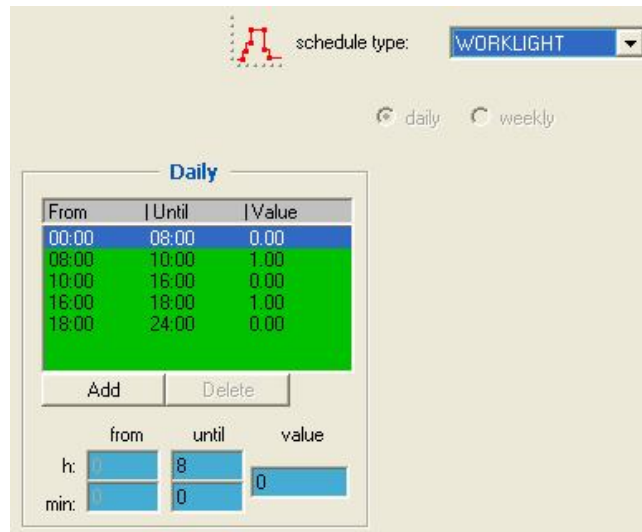


Figura 4.9. Definirea programului de funcționare al sistemului de iluminat în clădire în TRNSYS 16, Type 56

Funcționarea echipamentelor de climatizare se poate face conform unui program de lucru astfel încât temperatura interioară prescrisă să fie menținută doar în perioada de ocupare a clădirii. Sarcina de răcire a clădirii va fi acoperită de sistemul de climatizare care poate fi de tipul numai aer sau aer-apă.

Evaluarea indicilor de confort PMV și PPD este în concordanță cu descrierea statistică propusă de P.O. Fanger și implementată în standardul EN ISO 7730 care este integrat în subrutina Type 56.

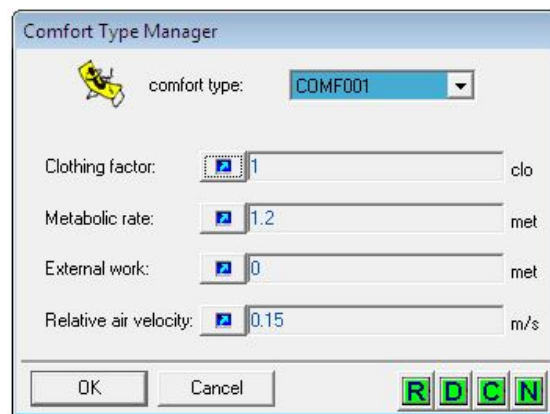


Figura 4.10. Definirea parametrilor de confort

4.3.2. Studiu de caz A – pentru un număr de 50 persoane

Pentru modelare s-au utilizat următoarele subrutine: Type 56: - modelul de anvelopă dinamic/ adaptivă; Type 109: - model pentru citirea și prelucrarea datelor climatice; Type 65 – model pentru imprimare on-line a rezultatelor; precum și o serie de modele de ecuații [TRNSYS, 2006b].

Datele generale privind modelul anvelopei sunt redată în figura 4.11.

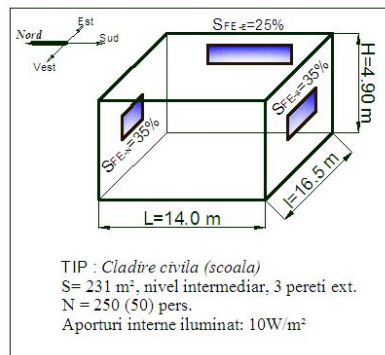


Figura 4.11. Date generale ale clădirii

Date de intrare:

- limitarea temperaturii pe perioada de încălzire la 20°C;
- limitarea temperaturii pe perioada de răcire la 26°C;
- debit de aer introdus prin infiltrații 0,1 sch/h
- aperturi iluminat, 10 W/m²,
- degajări de la o persoană, conform ISO7730 la o activitate foarte ușoară de birou Q_{sens}=65W (Q_{tot} =120W)

În figura 4.12 sunt prezentate degajările interne de căldură.

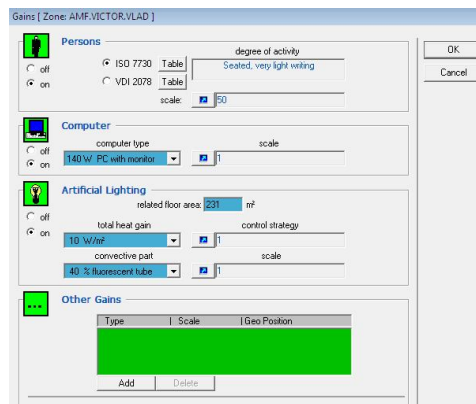


Figura 4.12. Stabilirea degajărilor interne de căldură în TRNSYS 16, Type 56

Fiecare componentă a sistemului testat este definit prin tipul său, „Type”, conform figurii 4.13.

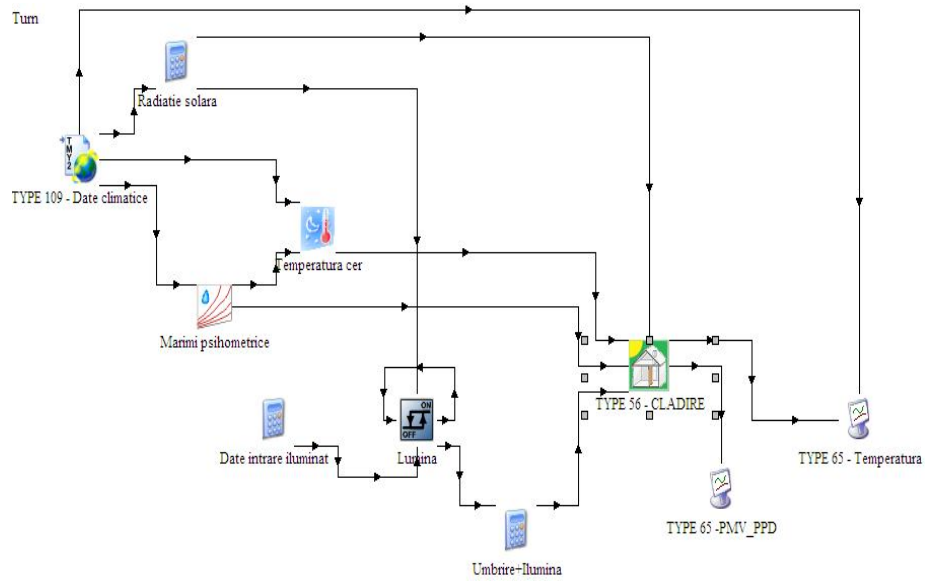


Figura 4.13. Modelul utilizat la simularea cu programul TRNSYS – Simulation Studio

În urma simulării conform datelor de intrare, în figura 4.14 se prezintă variația temperaturii interioare și a celei exterioare, iar în figura 4.15 indicii de confort PMV respectiv PPD.

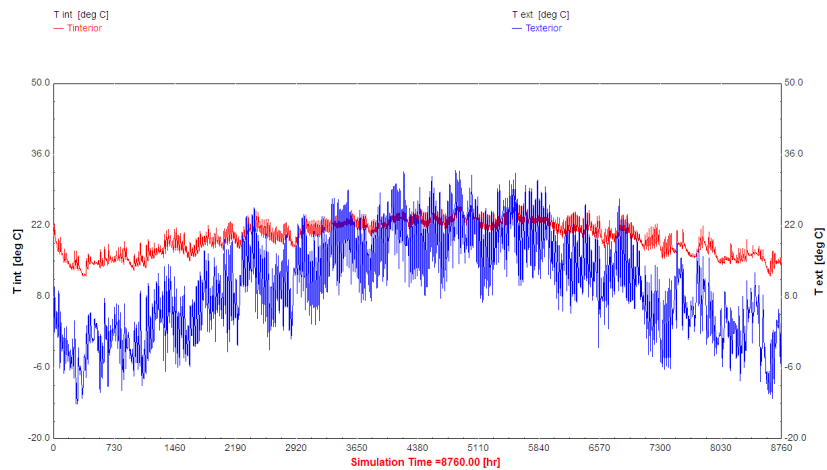


Figura 4.14. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 50 persoane

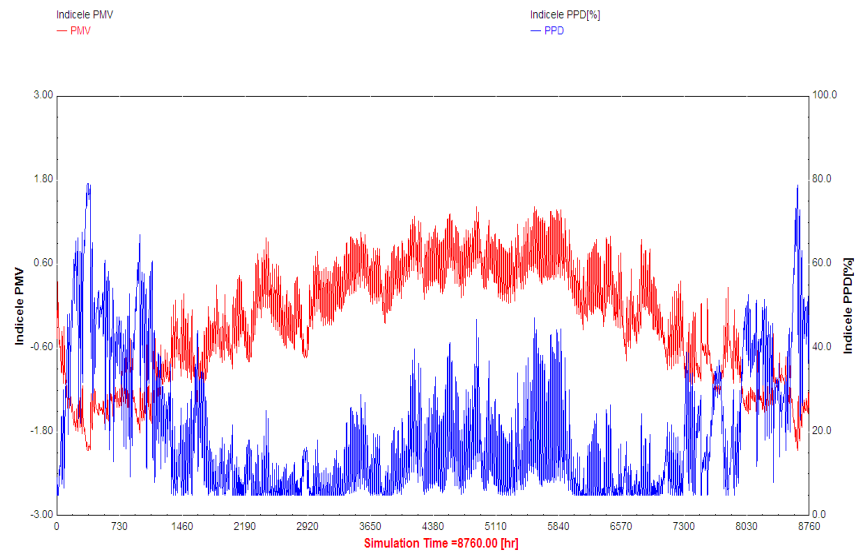


Figura 4.15. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 50 persoane

4.3.3. Studiu de caz B – pentru un număr de 250 persoane

Păstrând datele de intrare de la cazul A, și doar modificând numărul de persoane, aporturile interne cresc, variația temperaturii interioare și a celei exterioare se prezintă conform figurii 4.16, iar în figura 4.17 indicii de confort PMV respective PPD.

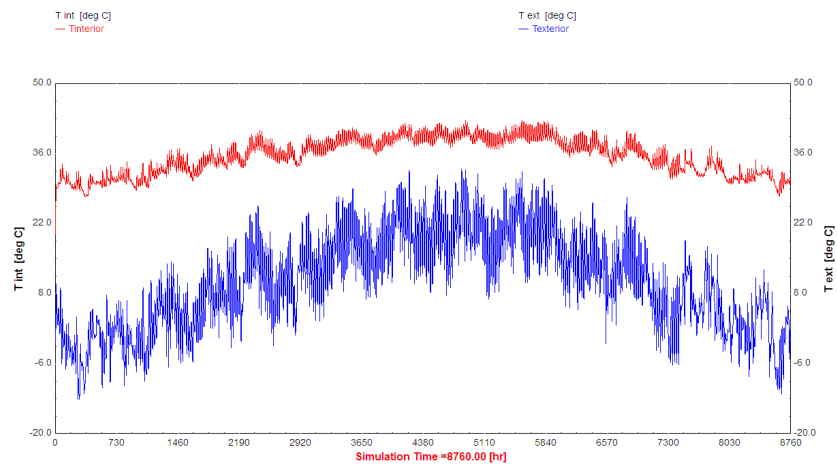


Figura 4.16. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 250 persoane

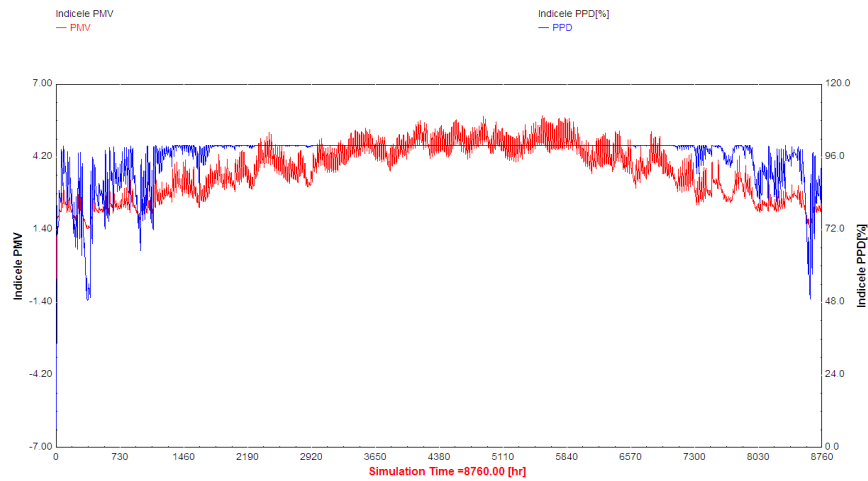


Figura 4.17. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 250 persoane

Analizând graficele anterioare se poate observa o creștere semnificativă a numărului de persoane nemulțumite față de cazul A. Spre exemplificare se prezintă în cele ce urmează o soluție pentru „ridicarea” gradului de confort. Păstrând aceleași date inițiale, doar introducând un debit de aer proaspăt echivalent cu un număr de 3sch/h la o temperatură egală cu temperatura exterioară, se poate obține un număr mai mic de nemulțumiți. Variațiile temperaturii interioare și ale indicilor de confort se poate observa în figurile 4.18, respectiv în figura 4.19

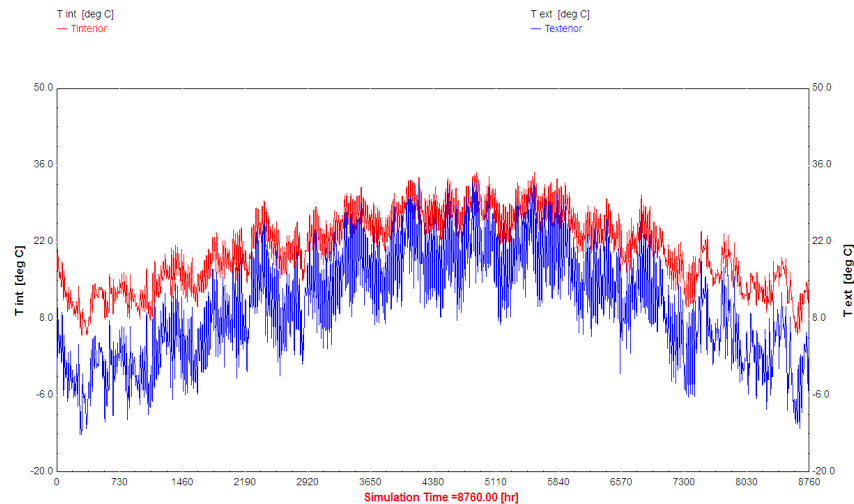


Figura 4.18. Variația temperaturii interioare și exterioare la un grad de ocupare de 250 persoane și un debit de aer introdus de 3sch/h

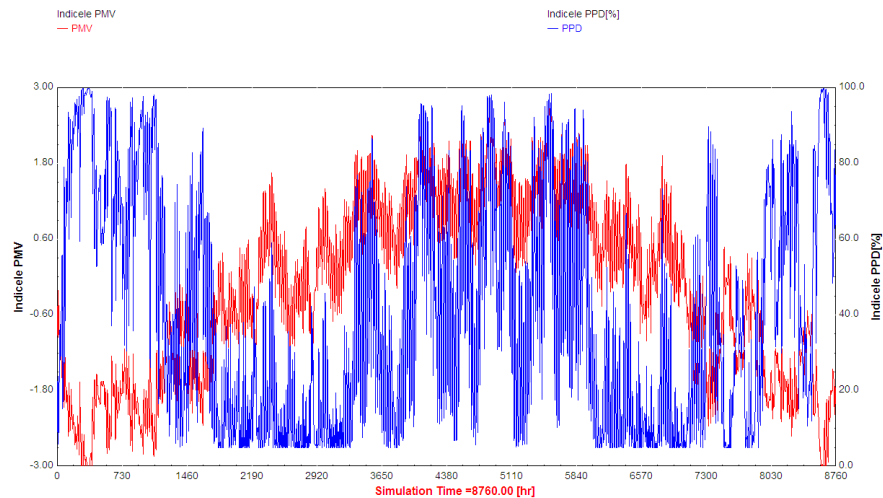


Figura 4.19. Variația indicilor PMV respectiv PPD la un grad de ocupare de 250 persoane

Necesarul lunar de energie pentru încălzire respectiv răcirea clădiri în cazul menținerii temperaturii pe perioada de încălzire la 20°C respectiv pe perioada de răcire la 26°C în urma simulărilor este redat în graficul de mai jos.

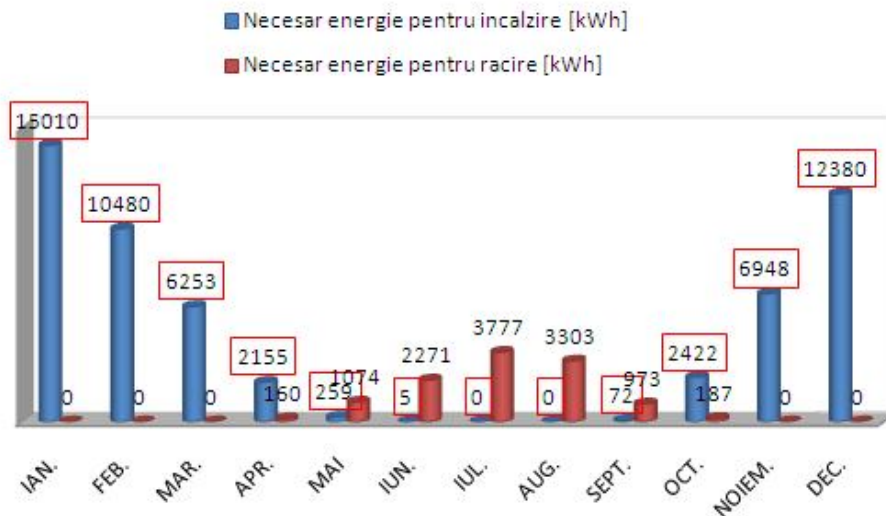


Figura 4.20. Variația necesarului de energie pentru încălzire respectiv răcire

Necesarul specific de energie pentru încălzire este de 242 [kWh/m²/an] iar pentru răcire de 50 [kWh/m²/an]. Se observă existența unui necesar de încălzire, chiar și în luna iunie. Acest necesar se datorează zilelor în care se înregistrează temperaturi exterioare mai scăzute, zile care fac excepția unei zile tradiționale de vară.

La evaluarea condițiilor de confort termic cât și a estimării performanței energetice a clădirii programul TRNSYS poate fi considerat un instrument util pentru proiectanți.

4.4 Concluzii parțiale

În cadrul acestui capitol se face o descriere a programului de simulare Trnsys, versiunea 16, și sunt efectuate un număr de 3 cazuri de simulare prin modificarea numărului de ocupanți dintr-un amfiteatru pentru stabilirea gradului de confort

S-a urmărit influența numărului de persoane la stabilirea gradului de confort într-un amfiteatru, fără un sistem de reglare automat a temperaturii interioare. Se poate concluziona ca fără o monitorizare și o automatizare a instalațiilor nu se poate asigura un grad de confort termic sporit, în perioadele de tranzit.

De aceea programele de simulare de tipul Trnsys se dovedesc a fi mult mai eficiente datorită complexității lor prin faptul că permite introducerea diferitelor scenarii de calcul și folosirea mai multor subrutine (type-uri) pentru un calcul mult mai detaliat. Aceasta conduce la obținerea unor rezultate mai exacte și mai apropiate de realitate.

Totuși și acest program are inconvenientul că utilizatorul trebuie să dețină informații detaliate despre clădire și sistem și să introducă aceste informații în interfața Trnsys, care poate fi greu de utilizat datorită numărului mare de componente ce trebuiesc definite și a legăturilor care trebuiesc făcute între componente.

Datorită faptului că problema confortului ambiental este foarte complexă, și este influențată de diverși parametrii, se dorește obținerea unor soluții cât mai simple și rezultate cât mai corecte, utilizând un program de calcul simplu detaliat ce rulează în regim dinamic.

5. RANDAMENTUL ACTIVITĂȚII DIDACTICE ÎN FUNCȚIE DE PARAMETRII DE CONFORT AMBIENTAL

5.1 Condițiile de lucru – Studiu de caz

Unul din scopul multor studii, este de a studia la diferiți parametri ai mediului care sunt condițiile optime pentru a da un randament maxim. Au existat studii la diverse activități, de la muncă fizică grea la muncă intelectuală, sub variații de temperatură, umiditate, viteză a aerului [Wyndham, 1973], [Langkilde, 1973], [Wyon, 1973].

Studiile recente realizate de Wargocki și Wyon au demonstrat că temperatura și calitatea aerului în școli sunt importanți factori în procesul de învățare, iar îmbunătățirea acestor factori dau aceleași rezultate ca și îmbunătățirea materialelor și metodelor de învățare [Wargocki, 2007].

Pentru a observa influența temperaturii aerului, umidității relative, cât și a conținutului de CO₂ din sălile de clase asupra activităților școlare, s-a realizat un studiu bazat pe măsurători în situ a acestor parametri evaluați în funcție de teste de atenție concentrată și de atenție distributivă.

Studiul a fost realizat în localitatea Timișoara, situată în partea de vest a României cu un climat temperat - continental, cu o medie anuală a temperaturii exterioare de 11.1 °C. Experimentul a fost realizat într-un interval de 2,15h (08:00 – 10:15) în perioada de vară în lunile iunie - iulie.

Valorile medii ale parametrilor climatici exterior pe perioada măsurătorilor se pot observa în tabel 5.1.

Tabel 5.1. Valorile medii ale parametrilor exteriori pe perioada măsurătorilor

	Timp	t _{ext} [°C]	Φ _{ext} [%]	v _{air ext} [m/s]	CO ₂ [ppm]
Iulie/Iunie	07:50	20.2	71.5	0.37	373
	10:30	26.4	53.6	0.31	381
Valori medii		23.28	62.82	0.34	377

Sala de seminar în care s-au efectuat măsurătorile este situată la parterul Facultății de Construcții din cadrul Universității "POLITEHNICA" din Timișoara, clădire cu 6 nivele, construită în anul 1982. Încăperea în care s-au realizat măsurătorile are o suprafață de 67,50 mp și o înălțime de 3,70 m, având un singur perete exterior orientat spre Est, prevăzută cu sistem de ventilare naturală.

Pentru interior pe timpul verii asigurarea unei temperaturi mai scăzute în interior se realizează cu ajutorul unui sistem de climatizare tip VRV, marca DAIKIN compus dintr-o unitate exterioară model RSX8K (QR=22,4 kW; Controlul capacității:

18~100 %) la care sunt racordate 3 unități interioare montate la nivelul tavanului, dintre care un model FXYSP63K (QRt=7,1 kW; QRs=5,11 kW) și încă două modele FXYCP25K (QRt=2x2,8 kW; QRs=2x 2,03 kW), fiecare model de unitate interioară este dotat cu o telecomandă cu fir model BRC1D52.

Pe perioada experimentului au fost monitorizați următorii parametri: temperatura aerului, temperatura medie radiantă, viteza aerului, umiditatea relativă și conținutul de dioxid de carbon (CO₂). Pentru determinarea indicilor de confort PMV respectiv PPD după modelul Fanger s-a estimat activitatea ocupanților ca fiind 1,2 met (69,84 W/m²), iar rezistența termică a îmbrăcămînții de 0,5 clo (0,078 m²C/W) pentru fete și 0,6 clo pentru băieți (0,094 m²C/W). Pentru determinarea rezistenței termice a îmbrăcămînții s-au utilizat tabelele conținute în standardele ASHRAE 55-2004 și ISO 7730, considerând valoarea medie a acestora.

Măsurătorile parametrilor climatici interiori s-au realizat cu ajutorul instrumentului de măsură **Testo 350**, la care s-au conectat: un senzor pentru măsurarea concentrației de CO₂, un senzor pentru măsurarea vitezei (fir cald), umiditate și temperatură și globul negru pentru determinarea temperaturii radiante (tabel 5.2).

Tabel 5.2. Echipamente de măsură

Tipul instrumentului de măsură	Testo 350		
		Interval măsură	Acuratețe
Senzor pentru măsurarea simultană a 3 mărimi:	Temperatura	T= -20...+70 °C	±0,4°C
	Viteza aerului	v= 0...10 m/s	±(0,03m/s ±5% of mv)
	umiditate	φ= 0...+100 %	±2%RH
Senzor măsurare CO ₂	0 ...10000 ppm CO ₂		±(50 ppm CO ₂ ±2% of mv)
Globtermometru Ø150 mm pentru măsurarea temperaturii radiante	Tmr= -20...+70 °C		±0,5°C

Montarea senzorilor de măsurare pentru temperatură, viteză și umiditate s-a făcut doar pe un singur nivel la înălțimea de 1,10 m față de pardoseală, iar senzorul pentru măsurarea concentrației de CO₂ la înălțimea de 0,10 m față de pardoseală – figura 5.1.

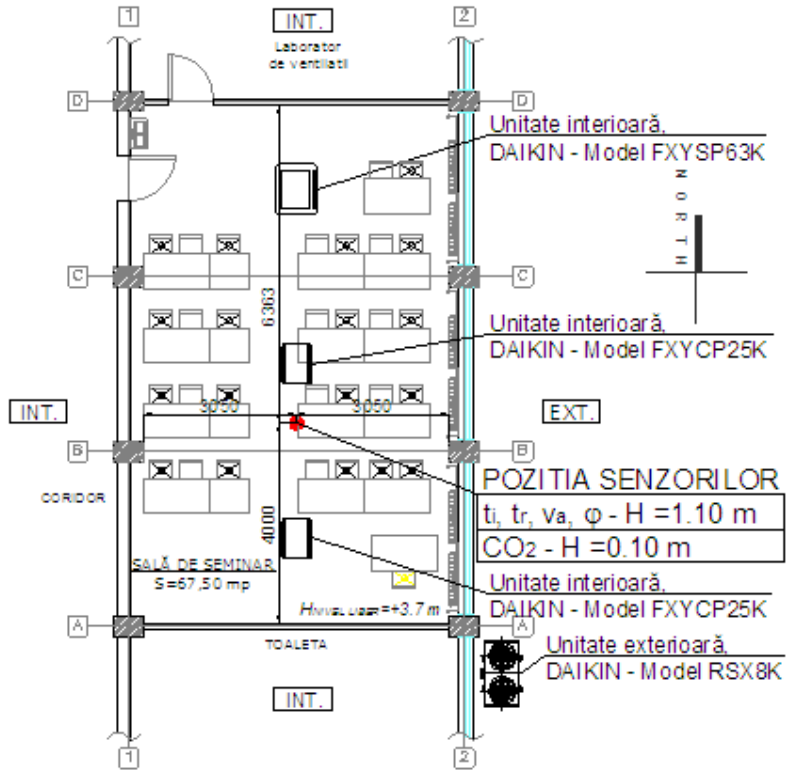


Figura 5.1. Plan sală cu poziționare senzori

Pe perioada experimentelor s-a ales un număr de 18 subiecți compuși din 11 băieți și 7 fete, studenți în anul II respectiv anul III de la departamentul de Inginerie Civilă și Instalații din cadrul Universității "POLITEHNICA" din Timișoara, ale căror caracteristici sunt prezentate în tabelul 5.3. Toți studenții supuși testelor au fost într-o stare bună de sănătate.

Tabel 5.3. Caracteristici subiecți

Caracteristici subiecți	M (no.=11)	F (no.=7)
Vârsta (ani)	21.09±0.83	21.29±0.76
Înălțime (m)	1.77±0.07	1.66±0.04
Greutate (kg)	78.75±10.67	57.67±9.10
BSA (m ²)	1.96±0.13	1.64±0.12
BMI (kg/m ²)	25.11±3.66	20.78±2.88

Valori prezentate ca și media ± SD

M – băieți, F – fete, BSA – Suprafața corpului (relația DuBois), BMI – Indicele de masă corporală

5.2 Desfășurarea experimentului

La începutul și la finalul intervalului de măsurători fiecare subiect a primit un chestionar în care și-a exprimat opinia asupra condițiilor climatice din sală. Chestionarele privind senzația de confort termic au fost structurate în 3 părți:

a). În prima parte sunt prezentate datele generale ale subiecților – vârstă, sex, îmbrăcăminte, tipul activității;

b). În a doua parte este structurată percepția subiecților asupra senzației confortului privind: temperatura, viteza aerului, umiditate, iluminat, zgomot;

c). Iar a treia parte cuprinde date privind parametrii climatici exteriori.

Pentru a surprinde randamentul studenților s-au utilizat două tipuri de teste de atenție:

- un test de atenție concentrată (testul Kraepelin), care presupune un calcul numeric elementar, dar care solicită multă activitate psihică prin numărul mare de itemi ce trebuie rezolvați corect într-un interval de timp scurt;

- un test de atenție distributivă (testul Praga), care urmărește să surprindă nivelul de manifestare al atenției distributive, implicând și spiritul de observație și memorie vizuală.

Timpii de rezolvare pentru testul Kraepelin a fost de 10 minute, iar pentru testul Praga a fost de 7 minute. Fiecare test a fost completat de către studenți la începutul măsurătorilor și la sfârșitul acestora.

Probele de atenție solicită:

- capacitatea de concentrare a atenției;
- memorie vizuală;
- capacitatea de direcționare selectivă a atenției;
- discriminarea percepției fixe.

Avantajul acestor teste este timpul scurt de aplicare, cantitatea mică de informații ce trebuie urmărite, iar evaluarea implică aspecte ale fenomenelor de oboseală și performanța este evaluată în mod cantitativ și calitativ simultan. Dacă s-ar prelungi durata de rezolvare a testului, ar apărea oboseala, antrenamentul, autocorelațiile, deci în final o dinamică descendentă.

Un program al experimentului este prezentat în figura 5.2.

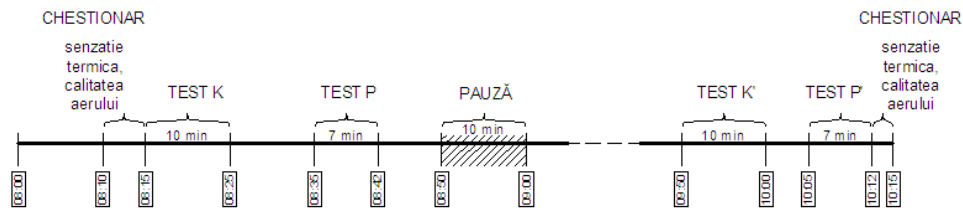


Figura 5.2. Program măsurători

S-au efectuat mai multe serii de experimente, fiecare dintre acestea încadrându-se în următoarele 3 cazuri:

- A. sala a funcționat fără instalație de climatizare și fără pauză - "caz 1";
- B. sala a funcționat fără instalație de climatizare și cu o pauză la un interval

de 50 minute de la începerea măsurătorilor - "caz1 + pauză" ;

C. sala a funcționat cu instalației de climatizare (pauza este irelevantă din punct de vedere ai parametrilor interiori deoarece instalația de climatizare păstrează temperatura constantă în intervalul de $\pm 1^{\circ}\text{C}$) - "caz2"

Spre exemplificare în figura 5.3., se prezintă variația temperaturii pe intervalul de timp de 2.15h pentru cele 3 cazuri.

În primele doua variante, regimul parametrilor interiori au rezultat din acțiunea directă a parametrilor climatici exteriori, iar în varianta a 3-a s-a setat temperatura aerului interior la limita de 23.0°C .

Condițiile de exploatare ale spațiului au fost fără posibilitate de control automat al aerului proaspăt, schimbul de aer cu mediul exterior, pe durata măsurătorilor, s-a făcut în sistem de ventilare natural (rosturi ale tâmplăriei și ferestre).

Pentru fiecare serie de experimente s-a urmărit randamentul dezvoltat de fiecare persoană. Astfel toate testele au fost de același tip.

5.2.1 Măsurători în situ ale parametrilor climatici

Scopul măsurătorilor în sala de curs, fără instalație de climatizare , în situația cu pauza respectiv fără pauză a fost de a vedea care este influența acesteia în variațiile de temperatură respectiv de conținut de CO_2 .

Din figura 5.3 se poate observa că temperatura aerului a prezentat o creștere constantă destul de accentuată de la 22.4°C până la 28.9°C în cazul în care nu a funcționat instalația de climatizare, și a păstrat o valoare mai constantă în cazul funcționării cu instalația de climatizare. Temperatura aerului a scăzut în timpul pauzei, în care sala a fost goală cu aproximativ 1.5°C .

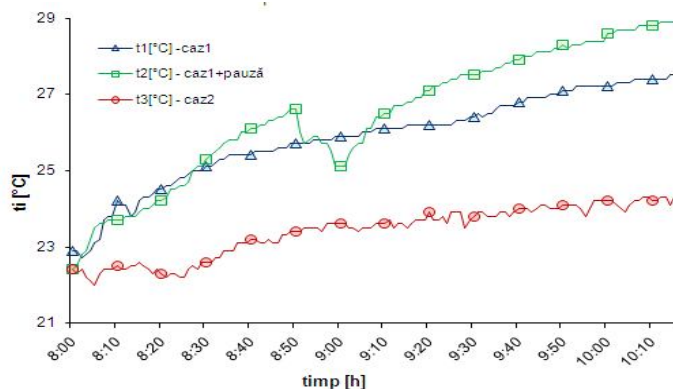


Figura 5.3. Variația temperaturii aerului interior la nivelul +1.10 m față de pardoseală

Variația umidității relative a aerului interior a fost în limitele confortului conform standardului ASHRAE 55 (30%-70%). În cazul nefuncționării instalației de climatizare umiditatea relativă a prezentat o scădere bruscă în primele 35min. până în jurul valorii de 54%, după care a păstrat o valoare mai constantă. La pauză când s-au deschis ferestrele pentru aerisire, umiditatea relativă a prezentat o mică creștere, datorită nivelului de umiditate mai ridicat la exterior. În cazul funcționării instalației de climatizare, umiditatea relativă a prezentat o scădere constantă de la

57.2% până la 42.9% într-un interval de 2.15h (figura 5.4). Variația destul de mare a umidității interioare de la începutul măsurătorilor este datorită faptului că în perioada respectivă în unele zile au fost precipitații în timpul nopții.

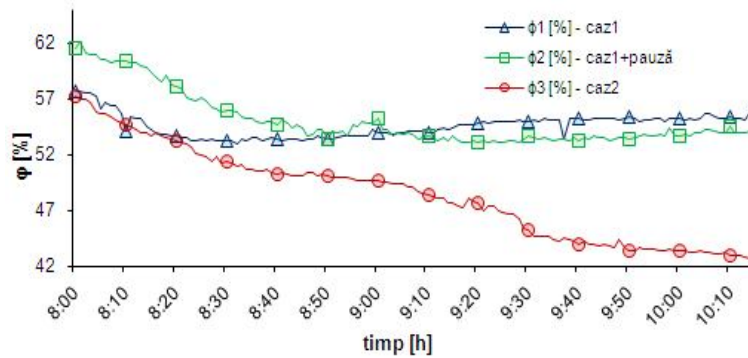


Figura 5.4. Variația umidității relative la nivelul +1.10 m față de pardoseală

Viteza aerului în încăperea a fost destul de mică, aproape nesemnificativă în cazul nefuncționării instalației de climatizare având o valoare medie de 0,045 m/s, iar de 0,145 m/s datorită funcționării aparatului de aer condiționat, conform figurii 5.5.

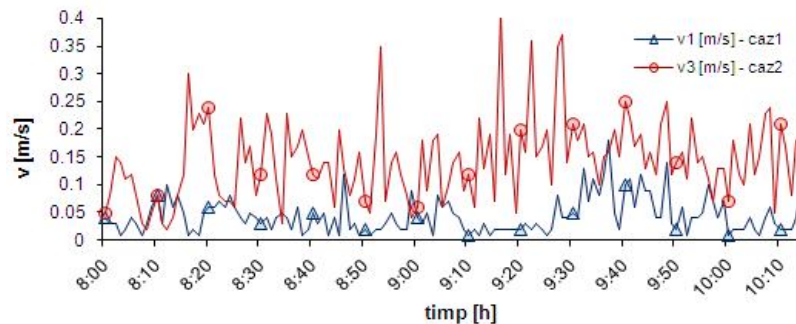


Figura 5.5. Variația vitezei aerului la nivelul +1.10 m față de pardoseală

Ținând cont că încăperea nu este dotată cu sistem de ventilare mecanică, din figura 5.6, se poate observa cum concentrația de CO₂ a crescut peste limita admisă ajungând la o valoare de aproximativ 2400 ppm > 1000 ppm în decurs de 2 ore, față de situația în care la pauză toată lumea a ieșit din sală, asigurându-se aerul proaspăt prin deschiderea ferestrelor. În cazul aerisirii încăperii, la pauză concentrația de CO₂ a scăzut semnificativ, ajungând la finalul celor 2 ore de măsurători la o valoare de aprox. 1500 ppm. Este de remarcat rolul aerisirii sălilor de clasă în timpul pauzelor pentru a restabili concentrația de CO₂ la nivelul cu cel din exterior.

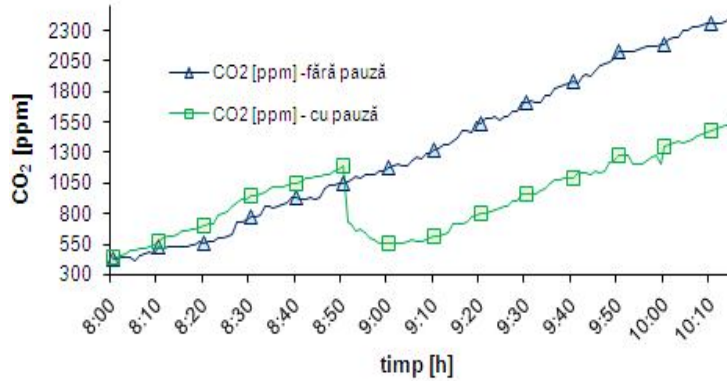


Figura 5.6. Variația concentrației de CO₂ la nivelul +0.10 m față de pardoseală

La începutul fiecărei măsurători la un interval de 10 minute după ce studenții au intrat în sală și s-au acomodat cu climatul interior, cât și la sfârșit, fiecare student a completat un chestionar pentru a-și exprima senzația de confort termic percepută de fiecare în parte și senzația percepută asupra calității aerului interior. Indicele PMV a fost calculat pentru aceleași condiții prin două metode diferite. O metodă subiectivă bazată pe răspunsurile conform metodei din ASHRAE bazat pe cele 7 puncte ale scalei senzației, și a doua metodă prin calcul matematic conform procedurii de calcul din ISO7730.

Un centralizator cu aceste rezultate în funcție de sex și timpul de răspuns, este prezentat în tabelul 5.4.

Tabel 5.4. Centralizator al valorilor medii pentru PMV obiectiv respectiv subiectiv

		Începutul măsurătorilor (ora 8 ⁰⁰)		Sfârșitul măsurătorilor (ora 10 ⁰⁰)	
		PMV - calculat	PMV - subiectiv	PMV - obiectiv	PMV - subiectiv
F	Caz1	-0.07	Puțin cald – 57,14% Neutru – 42,86%	0.89	Cald –71,43% Puțin cald –28,57%
	Caz1+pauză	-0.32	Cald – 14,29% Puțin cald – 57,14% Neutru – 28,57%	0.29	Cald –42,86% Puțin cald – 42,86% Neutru –14,29%
	Caz2	-0.65	Puțin rece – 100%	-0.29	Puțin rece– 100%
B	Caz1	0.13	Cald – 9,09% Puțin cald – 18,18% Neutru – 63,64% Puțin rece – 9,09%	1.02	Fierbinte–9,09% Cald –72,73% Puțin cald –18,18%
	Caz1+pauză	-0.1	Puțin cald – 36,36% Neutru – 63,64%	1.39	Cald –27,27% Puțin cald – 63,64% Neutru –18,18%
	Caz2	-0.42	Puțin rece – 100,00%	-0.08	Puțin cald – 9,09% Neutru – 36,36% Puțin rece – 54,55%

(Unde: Fierbinte– item ,3' , Cald – item ,2' ; Puțin cald – item ,1' ; Neutru – item ,0' ; Puțin rece– item , -1')

Din tabelul 5.4 se poate constata că fetele sunt mai sensibile la variația de temperatură decât băieții.

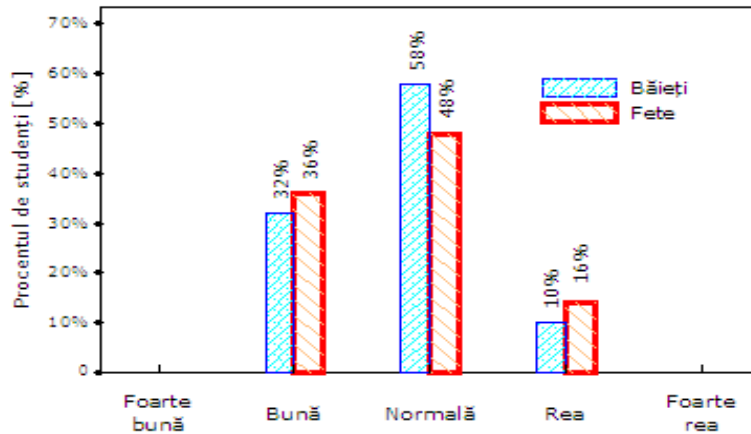


Figura 5.7. Centralizator al senzației calității aerului bazat pe chestionare

Majoritatea studenților chestionați au considerat calitatea aerului din interior ca fiind una normală (figura 5.7). Nici un ocupant nu și-a exprimat senzația asupra calității aerului ca fiind una foarte bună.

Ocupanții au fost mult mai sensibili la variațiile de temperatură în exprimarea confortului decât cele legate de calitatea aerului.

În cadrul studiului desfășurat, randamentul unei persoane a fost definit prin atenția cu care acea persoană îndeplinește o sarcină de lucru. Pentru aceasta, studenții participanți la studiu au avut de rezolvat două feluri de teste: un test de atenție concentrată (testul Kraepelin) și unul de atenție distributivă (testul Praga).

Pentru ambele teste s-a determinat gradul de rezolvare al acestuia pentru fiecare student în parte la fiecare dintre experimentele efectuate. Seriile de date obținute în urma experimentelor au stat la baza estimării eficienței activității studenților în școli cu ajutorul mai multor modele. Vom prezenta în următoarele două capitole pașii și modul în care au fost obținute aceste modele.

5.3 Propunere model de estimare a randamentului activității în școli

5.3.1 Corelația mărimilor

O primă analiză asupra datelor colectate de la teste a fost verificarea corelației existente între acestea. Corelația este o măsură statistică capabilă de evidențierea tuturor dependențelor dintre mai multe seturi de date. Conform definiției, două variabile sunt corelate dacă ele nu sunt statistic independente. Prin această analiză justificăm nevoia practică de a exprima o relație predictibilă între datele analizate.

În statistică, pentru două variabile independente (X și Y) calculul coeficientului 'Pearson' de corelare ($\rho_{X,Y}$) se face aplicând următoarea formulă [Hütte, 1995]:

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X) \cdot (Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (5.1)$$

unde σ_X și σ_Y reprezintă dispersia standard și μ_X și μ_Y valoarea ce se așteaptă. Valoarea coeficientului este situată în intervalul $[-1, +1]$, unde +1 reprezintă corelația perfectă, iar -1 reprezintă anticorelația.

Dacă X și Y sunt două serii de măsurători de forma (x_i și y_i) formula (5.1) devine:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.2)$$

unde \bar{x} și \bar{y} sunt valorile medii obținute pentru toate eșantioanele.

Experimentele efectuate au condus la obținerea a 12 serii de măsurători. Matricea coeficienților de corelație dintre acestea este prezentată în tabelul 5.5

Tabel 5.5. Matricea coeficienților de corelație dintre cele 12 seturi experimentale

Rând1	1.000	0.982	-0.019	0.891	0.954	0.975
Rând2	0.982	1.000	-0.131	0.848	0.946	0.958
Rând3	-0.019	-0.131	1.000	0.112	0.056	0.135
Rând4	0.891	0.848	0.112	1.000	0.951	0.829
Rând5	0.954	0.946	0.056	0.951	1.000	0.927
Rând6	0.975	0.958	0.135	0.829	0.927	1.000
Rând7	0.956	0.927	0.109	0.959	0.993	0.928
Rând8	0.718	0.626	-0.095	0.832	0.705	0.577
Rând9	0.339	0.164	0.655	0.396	0.300	0.370
Rând10	0.010	-0.116	0.072	0.342	0.085	-0.140
Rând11	0.983	0.972	0.083	0.880	0.947	0.987
Rând12	0.788	0.884	-0.407	0.683	0.821	0.741

...continuare tabel 5.5

Rând1	0.956	0.718	0.339	0.010	0.983	0.788
Rând2	0.927	0.626	0.164	-0.116	0.972	0.884
Rând3	0.109	-0.095	0.655	0.072	0.083	-0.407
Rând4	0.959	0.832	0.396	0.342	0.880	0.683
Rând5	0.993	0.705	0.300	0.085	0.947	0.821
Rând6	0.928	0.577	0.370	-0.140	0.987	0.741
Rând7	1.000	0.754	0.405	0.156	0.941	0.757
Rând8	0.754	1.000	0.535	0.687	0.624	0.402
Rând9	0.405	0.535	1.000	0.508	0.308	-0.271
Rând10	0.156	0.687	0.508	1.000	-0.085	-0.258
Rând11	0.941	0.624	0.308	-0.085	1.000	0.779
Rând12	0.757	0.402	-0.271	-0.258	0.779	1.000

Diagonala principală a matricei are valori de 1.000 deoarece orice set este perfect corelat cu el însuși. Restul elementelor din matrice arată coeficientul de corelație existent între setul cu indice egal cu numărul liniei și setul cu indicele egal cu numărul coloanei.

Chiar și o scurtă privire asupra tabelului ne confirmă teoria conform căreia, toate seturile de date experimentale sunt corelate între ele. Acest aspect validează modelele regresionale ce vor fi prezentate în continuare.

5.3.2 Model de estimare a randamentului în funcție de temperatură

5.3.2.1 Model de estimare construit cu rezultatele de la testeleK

Testele K au avut ca scop măsurarea gradului de atenție concentrată la studenților. Fiecare dintre aceștia a fost supus la 12 astfel de teste pentru a putea avea suficient de multe date necesare analizei noastre. Rezultatele obținute de aceștia sunt exprimate în valori ce sunt cuprinse în intervalul [0, 600](Tabelul 5.6)

Tabel 5.6. Exemplu de rezultate obținute la testulK de studenți

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Student 1	84.08%	80.58%	93.77%	86.95%	95.00%	81.97%
Student 2	78.40%	92.27%	82.88%	79.99%	78.16%	83.90%
Student 3	80.45%	83.40%	81.02%	83.31%	94.13%	97.44%
....						
Media	87.60%	87.99%	87.29%	87.28%	86.33%	87.44%
Temperatura [°C]	24.2	27.1	23.9	28.3	22.6	24.1

...continuare tabel 5.6

	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
Student 1	87.26%	80.69%	83.89%	85.42%	89.31%	89.43%
Student 2	90.30%	87.97%	81.12%	78.81%	90.54%	86.01%
Student 3	96.17%	92.02%	66.59%	84.81%	94.14%	76.66%
....						
Media	88.01%	87.95%	85.99%	88.01%	87.45%	86.32%
Temperatura [°C]	24.8	24.6	22.2	27.2	24.5	28.8

Randamentul fiecărui student în funcție de temperatură este prezentat în figura 5.8. Graficul a fost realizat folosind o funcție de interpolare între toate rezultatele obținute de către studenți, temperatura medie pe durata testului și rezultatele pe care aceștia le-au obținut.

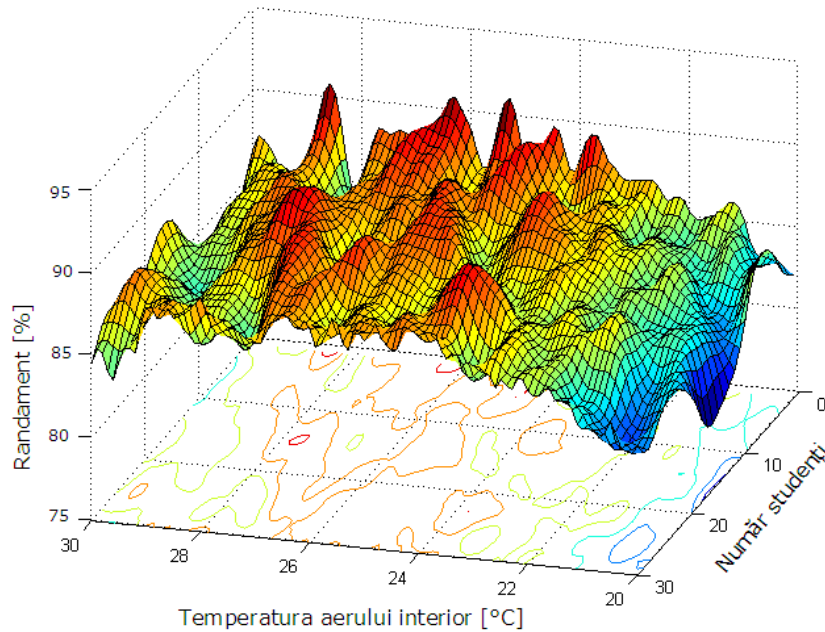


Figura 5.8. Rezultatele obținute de către toți studenții la „test K”

Este dificil de lucrat cu un astfel de grafic și din această cauză s-a încercat obținerea unui model al eficienței în funcție de temperatură având la dispoziție media rezultatelor obținute de toți studenții pentru fiecare test

Alegerea unui model de estimare nu este o treabă simplă, deoarece modelul trebuie să se comporte bine și pentru valori ce nu se regăsesc în seturile de date ce au stat la baza generării lui. Deoarece eficiența la studenți se prezintă ca un proces natural, am ales pentru aceasta o funcție gaussiană.

Nu există în prezent o metodă de aproximare care să aibă la bază o funcție gaussiană. Din această cauză am folosit pentru interpolare o funcție pătratică, iar după obținerea parametrilor acesteia s-au calculat noii parametri ai funcției de tip gauss care să aproximeze datele introduse.

Determinarea funcției pătratice presupune găsirea unei funcții de tipul:

$$p(x) = p_1 \cdot x^2 + p_2 \cdot x + p_3 \quad (5.3)$$

și determinarea tuturor parametrilor acesteia (p_1, p_2 și p_3) care să aproximeze cel mai bine datele avute, în sensul sumei pătratelor. Scopul acesteia este să aproximeze cel mai bine datele de intrare astfel încât suma:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - p(x_i)]^2 \quad (5.4)$$

să aibă valoare minimă (y_i reprezintă rezultatul așteptat pentru intrarea x_i)

S-a dorit ca aproximarea să fie făcută cu o funcție de tip Gauss:

$$g(x) = a \cdot e^{-\frac{(x-b)^2}{2 \cdot c^2}} \quad (5.5)$$

ai cărei parametri reprezintă: a - vârful curbei, b - valoarea dorită (poziționată central față de vârf) și c - divergenta (lățimea "clopotului"), $e \approx 2.71828$ (numărul Euler).

Odată obținuți parametrii pentru funcția $p(x)$ transformarea acesteia într-o funcție gaussiană se face după formula:

$$c = \sqrt{-\frac{1}{2 \cdot p_1}}; \quad b = p_2 \cdot c^2; \quad a = e^{p_3 + \frac{b^2}{2 \cdot c^2}} \quad (5.6)$$

Folosind mediile rezultatelor obținute de studenți la testul K pentru toate cele 12 serii de date și utilizând procesul matematic descris mai sus am obținut următoarea funcție de aproximare a randamentului activității studenților în funcție de temperatură:

$$Rand. T = a \cdot e^{-\frac{(Temperatura-b)^2}{2 \cdot c^2}} \quad (5.7)$$

unde $a = 88.1$, $b = 25.685$ și $c = 16.071$.

Graficul acestei funcții și valorile celor 12 valori medii este prezentat în Fig. 5.9. Se poate observa că acesta păstrează forma dată de Fig.5.8 și valorile maxime ale eficienței activității studenților se situează în intervalul 24 -26 grade Celsius.

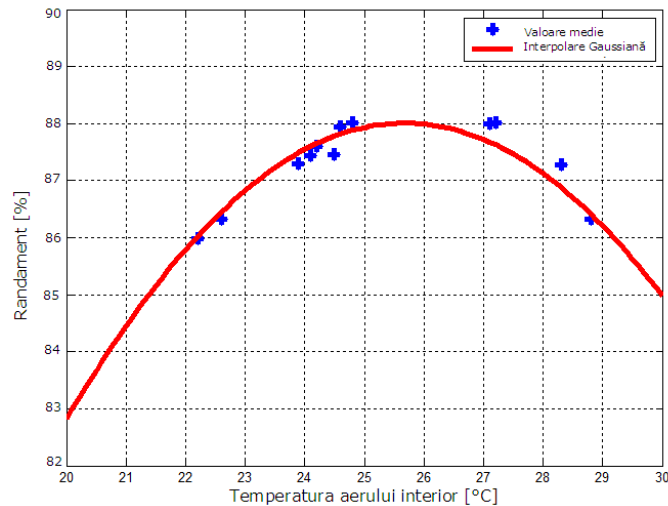


Figura 5.9. Interpolare gauss pentru randamentul mediu la „test K”

5.3.2.2 Model de estimare construit cu rezultatele de la testeleP

Testele P au avut ca scop măsurarea gradului de atenție distributivă al studenților. La fel ca și în cazul testelorK, au existat 12 astfel de sesiuni în care temperatura interioară a variat. Rezultatele de la testeleP sunt valori cuprinse în intervalul [0,40], iar în tabelul 5.7 se pot observa câteva rezultate obținute de către studenți.

Tabel 5.7. Exemplu de rezultate obținute la testulP de studenți

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Student 1	79.27%	79.14%	82.26%	80.01%	76.51%	89.27%
Student 2	91.41%	91.49%	91.83%	89.32%	88.32%	78.63%
Student 3	84.39%	90.11%	89.87%	94.67%	89.42%	90.19%
....						
Media	93.13%	93.52%	91.70%	93.91%	91.14%	92.63%
Temperatura [°C]	25.4	27.4	24.3	28.6	23.2	25

...continuare tabel 5.7

	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
Student 1	86.49%	79.48%	89.22%	89.41%	94.91%	79.81%
Student 2	90.67%	88.90%	75.56%	96.53%	88.10%	87.44%
Student 3	80.39%	86.33%	76.73%	91.33%	93.45%	97.78%
....						
Media	92.42%	91.39%	89.55%	93.22%	93.11%	93.24%
Temperatura [°C]	25.6	24.2	22.3	28.1	28.9	26.1

Și în acest caz afișarea randamentului pentru fiecare student a condus la graficul prezentat în figura 5.10. Comparativ cu graficul din figura 5.8 se poate observa o creștere a randamentului pentru aceste teste și totodată o modificare a zonei de eficiență maximă către temperaturi cu 2 grade celsius mai mari.

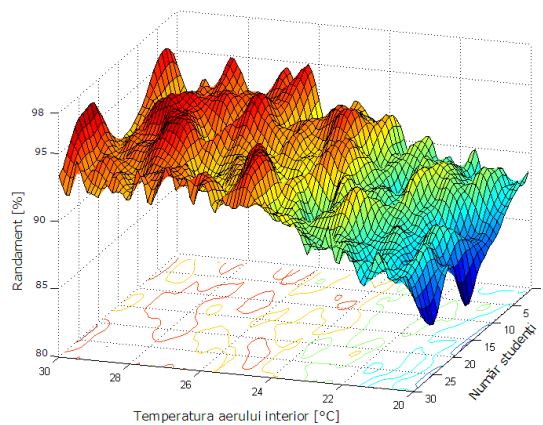


Figura 5.10. Rezultatele obținute de către toți studenții la „test P”

Modelul de estimare a activității studenților folosind doar rezultatele de la testul P a fost și el făcut pe baza mediilor obținute de studenți la acest test. (Tabel 5.7) În figura 5.11 se poate observa graficul funcției obținute și valorile pentru care aceasta a fost generată.

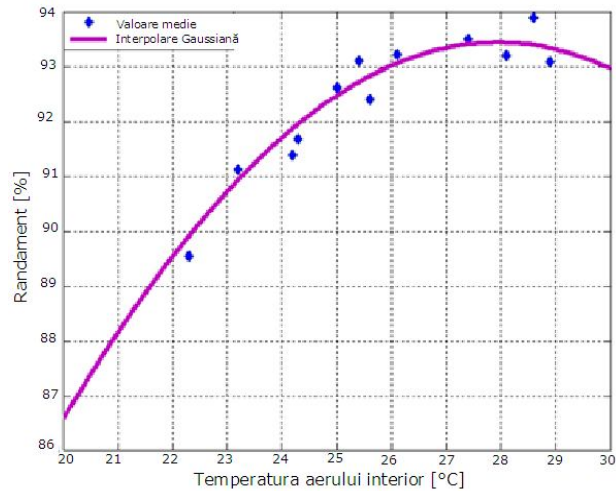


Figura 5.11. Interpolare gauss pentru randamentul mediu la „test P”

Funcția de interpolare are aceeași formă ca și cea de la formula (5.3), doar alți parametri: $a = 0.935$, $b = 27.902$ și $c = 19.282$

Model de estimare construit cu rezultatele cumulate de la testele K și testele P

Pentru a reuși crearea unui singur model care să exprime performanțele unui student în funcție de temperatură, a trebuit să integrăm datele obținute la testul K cu datele obținute la testul P. Astfel modelul de estimare a randamentului activității la studenți în funcție de temperatură are următoarea formulă:

$$Rand. T = 90.95 \cdot e^{-\frac{(Temperatura - 27.142)^2}{2 \cdot 16.774^2}} \quad (5.8)$$

iar, graficul acesteia poate fi observat în Figura 5.12.

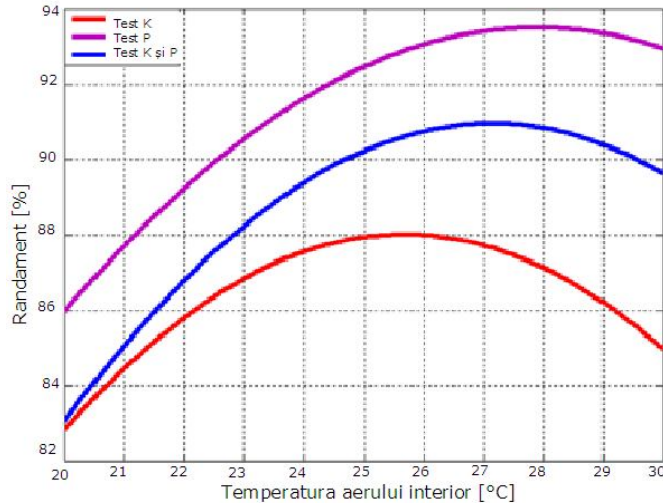


Figura 5.12. Randamentul activității la studenți în funcție de temperatură

Se poate observa că prin suprapunerea randamentului rezultat la cele două teste în funcție de temperatura, randamentul maxim se obține la o temperatură de aproximativ 27°C.

5.3.3 Model de estimare a randamentului în funcție de umiditatea relativă

Modelul regresional a fost obținut într-un mod similar cu acela al temperaturii (capitolul 5.4.2). Datele care au condus la obținerea acestor rezultate se pot observa în tabelul 5.8.

Tabel 5.8. Mediile randamentului obținut de către studenți la fiecare test și valorile umidității relative înregistrate în timpul testelor

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Randament testK [%]	87.60	87.99	87.29	87.28	86.33	87.44
φ testK [%]	53.5	55.3	50.6	53.4	54.9	50.7
Randament testP [%]	93.13	93.52	91.70	93.91	91.14	92.63
φ testP [%]	54.1	60.4	54.7	53.7	58.1	53.2

...continuare tabel 5.8

	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
Randament testK [%]	88.01	87.95	85.99	88.01	87.45	86.32
φ testK [%]	55.2	53.6	43.4	55.1	53.5	44.7
Randament testP [%]	92.42	91.39	89.55	93.22	93.11	93.24
φ testP [%]	55.3	54	43.3	55.4	54.5	43

Pe baza datelor din tabelul 5.8 s-au determinat 3 modele de regresie pentru randamentul studenților în funcție de umiditatea relativă. Pentru primul model au fost luate în considerare datele obținute în cadrul experimentelor efectuate cu testele K, iar pentru al doilea model s-au considerat datele obținute în cadrul experimentelor efectuate cu testele P. (Figura 5.13 și Figura 5.14)

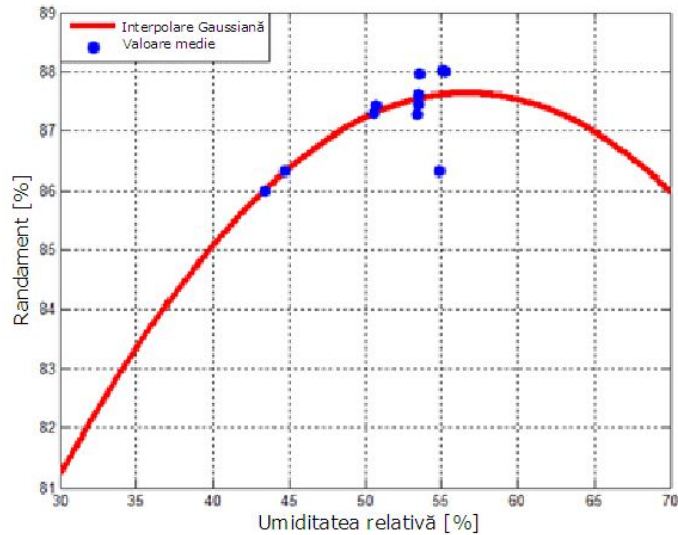


Figura 5.13. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă la „test K”

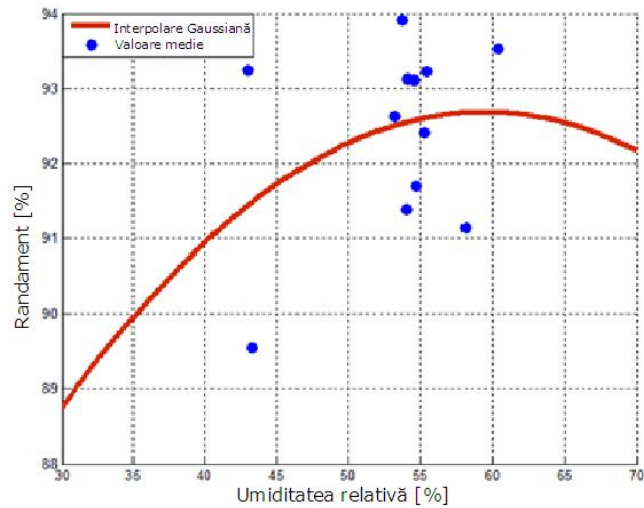


Figura 15.14. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă la „test P”

În final a fost propus un model care să cuprindă ambele rezultate (teste K și

teste P) și care să aproximeze randamentul studenților în funcție de umiditatea relativă. Acest model are următoarea formă:

$$Rand._{\varphi} = 90.33 \cdot e^{-\frac{(Umiditatea - 60.79)^2}{2 \cdot 86.63^2}} \quad (5.9)$$

Graficul poate fi observat în figura 5.15.

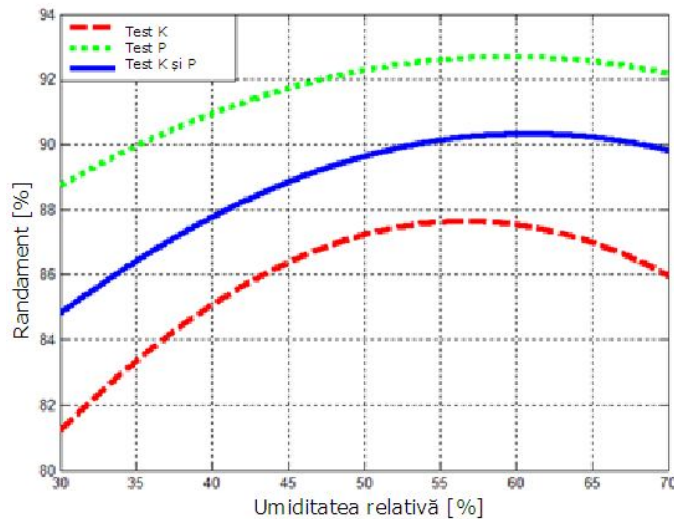


Figura 5.15. Randamentul activității la studenți în funcție de umiditatea relativă

Din figura 5.15, se poate observa că prin suprapunerea randamentului rezultat la cele două teste în funcție de umiditatea relativă, randamentul maxim se obține la o umiditate aproximativă de 60%.

Prin compararea celor două curbe de variație a randamentului în funcție de umiditate și respectiv temperatură se poate observa că umiditatea are o influență mai mică asupra activităților școlare.

5.3.4 Model de estimare a randamentului activității în funcție de conținutul de CO₂

În acest caz modelul ales a fost un model de regresie liniară. Ecuația care stă la baza unui model liniar are următoarea formă:

$$p(x) = a \cdot x + b \quad (5.10)$$

Pentru concentrația de CO₂ am ales acest model deoarece concentrația dă relația dintre x și $p(x)$ și este una liniară în acest caz. Datele care au condus la obținerea acestor rezultate se pot observa în tabelul 5.9.

Tabel 5.9. Mediile randamentului obținut de către studenți la fiecare test și valorile concentrației de CO₂ în timpul testelor

130 RANDAMENTUL ACTIVITĂȚII DIDACTICE ÎN FUNCȚIE DE PARAMETRII...

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Randament testK [%]	87.60	87.99	87.29	87.28	86.33	87.44
CO ₂ testK [ppm]	792	573	732	785	1717	889
Randament testP [%]	93.13	93.52	91.70	93.91	91.14	92.63
CO ₂ testP [ppm]	1030	866	1949	572	1853	1601

...continuare tabel 5.9

	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
Randament testK [%]	88.01	87.95	85.99	88.01	87.45	86.32
CO ₂ testK [ppm]	439	968	2184	693	668	1772
Randament testP [%]	92.42	91.39	89.55	93.22	93.11	93.24
CO ₂ testP [ppm]	1575	1830	2129	1064	930	1601

Pe baza datelor din tabelul 5.9 s-au determinat 3 modele de regresie pentru randamentul studenților în funcție de concentrația de CO₂ din încăpere. Pentru primul model au fost luate în considerare datele obținute în cadrul experimentelor efectuate cu testeleK, iar pentru al doilea model s-au considerat datele obținute în cadrul experimentelor efectuate cu testeleP. (Figura 5.16 și Figura 5.17)

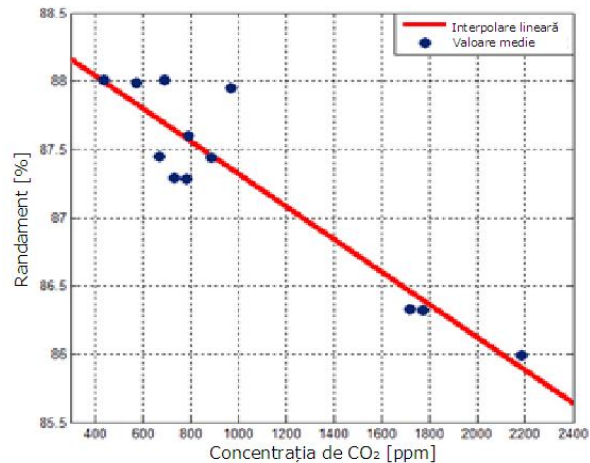


Figura 5.16. Randamentul activității la studenți în funcție de concentrația de CO₂ la „test K”

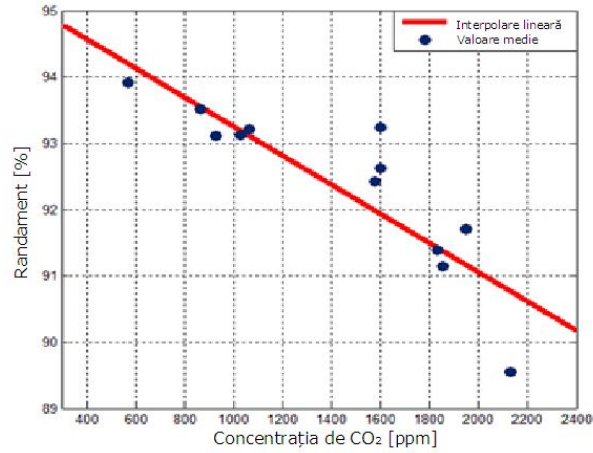


Figura 5.17. Randamentul activității la studenți în funcție de concentrația de CO₂ la „test P”

În final a fost propus un model care să cuprindă ambele rezultate (testeK și testeP) și care să aproximeze randamentul studenților în concentrația de CO₂. Acest model are următoarea formă:

$$Rand_{CO_2} = -0.0003 \cdot x + 89.48 \quad (5.11)$$

Graficul acestui model se poate observa în figura 5.18.

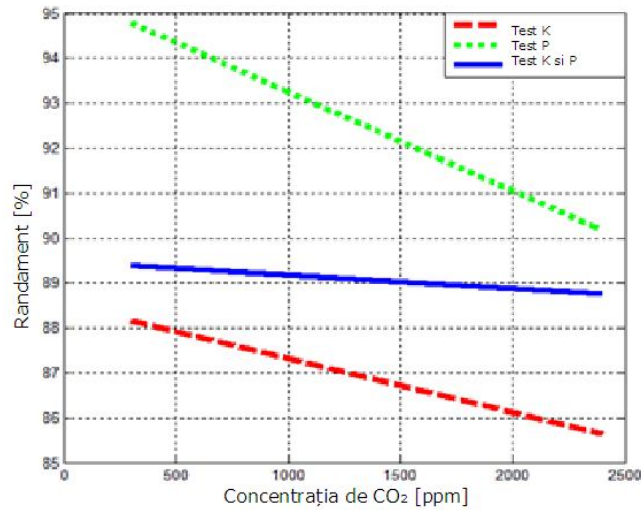


Figura 5.18. Estimarea randamentului în funcție de concentrația de CO₂

Randamentul activității în funcție de conținutul de CO₂ prezintă o scădere nesemnificativă față de variația mare a dioxidului de CO₂.

5.3.5 Model general de estimare a eficienței

În capitolul anterior am prezentat trei modele de estimare al randamentului activității la studenți în funcție de principalii trei parametri ce caracterizează climatul interior. Pentru fiecare dintre cele trei modele propuse a fost prezentat modelul matematic ce stă la baza acestora, precum și pașii necesari ce au fost efectuați pentru determinarea acestora. Folosind funcția gaussiană s-a reușit determinarea câte a unui model de estimare al randamentului activității în funcție de: temperatura interioară, umiditatea relativă și concentrația de CO₂ existentă în aer.

Utilizarea a trei modele de estimare este dificilă în special atunci când parametrii acestora variază mult. Din această cauză în această ultimă parte a lucrării am propus un model general de estimare a randamentului activității la studenți care să conțină toți cei trei parametrii.

Pentru a putea calcula coeficienții care sunt asociați fiecărui model o serie de chestionare de percepție a senzațiilor parametrilor climatici au fost distribuite studenților în decursul celor 12 experimente. Valorile percepției se încadrează în intervalul [0,6] pentru fiecare dintre cei trei parametrii. Graficul rezultatelor furnizate de către studenți asupra percepției modificărilor parametrilor climatici se poate observa în figura 5.19.

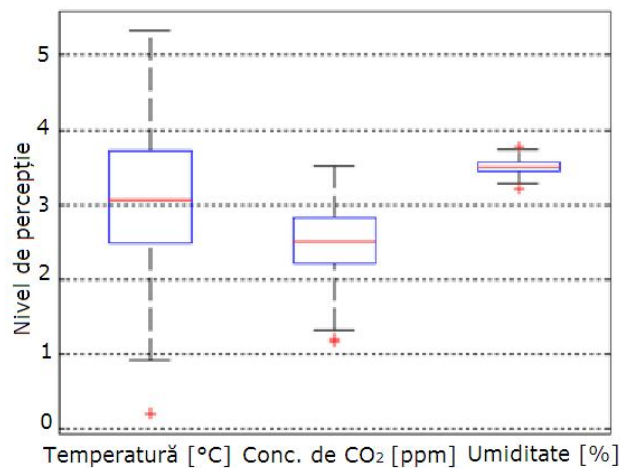


Figura 5.19. Percepția studenților asupra modificărilor parametrilor climatici

Modelul general de estimare a randamentului activității studenților în funcție de temperatură, umiditate relativă și concentrația de CO₂ se prezintă astfel:

$$Rand. = 0.675 \cdot Rand._{T} + 0.238 \cdot Rand._{CO_2} + 0.087 \cdot Rand._{\varphi} \quad (5.12)$$

unde $Rand._{T}$ se calculează conform relației (5.8), $Rand._{\varphi}$ se calculează conform relației (5.9) iar $Rand._{CO_2}$ se calculează conform relației (5.11)

Intervalul pentru care a fost determinat acest model sunt următoarele: temperatura: [20,30] (°C), umiditatea relativă între [30,70] (%), iar pentru

concentrația de CO₂ intervalul este de [300,2400] (ppm).

Acest model a fost testat în condiții modificate și rezultatele obținute au fost favorabile și s-au încadrat într-o marjă de eroare de 5%.

5.4 Concluzii parțiale

Capitolul prezent are la bază un studiu ce urmărește modul în care parametrii climatici interiori influențează randamentul activității studenților în sălile de clasă. Studiul a fost făcut într-o sală de seminar de la parterul Facultății de Construcții din cadrul Universității Politehnica din Timișoara, pe perioada de vară. Pentru a stabili randamentul activității studenților s-au efectuat 12 serii de experimente în cadrul cărora studenții au dat două teste: un test de atenție distributivă (Praga test) și un test de atenție concentrată (Kraepelin test).

Din analiza premiselor calității mediului ambiental și condiționării performanțelor școlare, specialiștii au o responsabilitate de a avea în vedere următoarele aspecte:

- cunoașterea situației actuale în fiecare școală și în fiecare încăpere a acesteia;

- elaborarea de documentații tehnice (proiecte) pentru reabilitarea și / sau modernizarea școlilor existente, respectiv realizarea de noi construcții pentru învățământ care să aibe în vedere și: posibilitatea controlului și reglării temperaturii, umidității și conținutului de CO₂ în toate sezoanele;

Prima parte a capitolului prezintă variația parametrilor climatici interiori în timpul acestor teste. Pentru fiecare experiment au fost măsurati următorii parametri climatici interiori: temperatura, umiditatea relativă și concentrația de CO₂.

Acest studiu a oferit informații noi cantitative despre calitatea aerului interior prin monitorizarea conținutului de CO₂ pe parcursul a 2 ore.

Nivelul concentrație de CO₂ a prezentat o creștere accentuată, mult peste valoarea standard. În cazul sălilor de curs cu sistem de ventilare natural, se recomandă respectarea pauzelor cu ventilarea spațiului și eventual păstrarea sălilor goale pe parcursul pauzelor. În aceste situații concentrația de CO₂ de la interior se va restabili la nivelul concentrației din exterior. Deseori orele de predare/ seminar, încep cu concentrații reziduale din ora/zia precedentă.

În lipsa unei automatizări, variația temperaturii interioare este mult influențată de variația temperaturii exterioare.

În partea a doua a capitolului sunt propuse o serie de modele de estimare a eficienței activității desfășurate de către studenți pe baza rezultatelor obținute de aceștia la cele două teste. Se propun astfel 3 modele de estimare a eficienței în funcție de următorii trei parametri climatici: temperatura aerului interior, umiditatea relativă și conținutul de CO₂. Pentru obținerea modelelor de estimare se folosesc funcții gaussiene deoarece acestea estimează cel mai bine procesele naturale (randamentul unui student).

Modalitatea de calcul a parametrilor modelelor se face în doi pași. Primul pas se bazează pe o metodă de aproximare (curbe polinomiale de aproximare) utilizând funcția pătratică. În pasul al doilea, pe baza parametrilor obținuți la pasul 1, se determină coeficienții funcțiilor gaussiene folosite. Pentru ultimul model (concentrația de CO₂) de estimare se utilizează regresia liniară simplă.

Se propune și un model general de aproximare a randamentului studenților în școli obținut pe baza celor trei modele particulare. Coeficienții folosiți pentru acest

model au fost calculați cu ajutorul datelor obținute de la testele de percepție senzorială.

Percepția senzorială a parametrilor climatici diferă de la subiect la subiect, fiind influențată în principal de starea de sănătate și psihică, perioada de aclimatizare, îmbrăcăminte și nu numai.

Se poate observa că prin suprapunerea randamentului rezultat la cele două teste în funcție de temperatură, randamentul maxim se obține la o temperatură de aproximativ 27°C.

Randamentul maxim pe baza chestionarelor date, de atenție concentrată și atenție distributivă se obține la o umiditate aproximativă de 60%. Prin compararea celor două curbe de variație a randamentului în funcție de umiditate și respectiv temperatură se poate observa că umiditatea are o influență mai mică asupra activităților școlare.

Randamentul activității în funcție de conținutul de CO₂ prezintă o scădere nesemnificativă față de variația mare a bioxidului de carbon.

Consider că în acest fel am reușit determinarea și validarea acestui model și-l propun pentru viitoare studii ce au la bază calcularea eficienței activității desfășurate de studenți.

Rezultatele obținute prin ecuația generală a randamentului studenților regăsită în graficul din figura 5.9, este în concordanță cu analiza influenței climatului interior în școlile din SUA, figura 1.4.

6. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

6.1 Concluzii finale

Lucrarea dorește să evidențieze/ arate influența confortului ambiental asupra randamentului didactic. Se pornește de la analiza nivelului de cunoaștere reflectat în legislația tehnică – standarde și normative din țară și străinătate. Se au în vedere parametrii care definesc calitatea mediului interior, dar și legăturile semnificative dintre caracteristicile clădirilor influențate și de mediul exterior, precum și de rezultatele obținute pe această direcție în analiza performanțelor umane în clădiri de birouri.

Pe baza studiilor efectuate și a cercetărilor făcute a fost evidențiat confortul termo - fiziologic ca fiind dependent de parametrii microclimatului.

S-au avut în vedere capacitatea corpului uman de autoreglare termică (prin hipotalamus) și s-a concluzionat că senzația de confort termic este percepută în mod individual în raport cu particularitățile fiziologice de mediu și date de factori conjuncturali. Totodată s-a accentuat direcțiile de realizare a confortului termic:

- asigurarea unei temperaturi operative medii, în concordanță cu natura activității și îmbrăcămintea ocupanților;
- limitarea asimetriei temperaturilor radiante și a gradientilor de temperatură la valori acceptabile;
- evitarea situațiilor în care ocupanții vin în contact cu suprafețe prea reci sau prea calde;
- evitarea curenților de aer.

Nu au fost neglijate aspectele legate de confortul vizual dat de un iluminat favorabil câmpului vizual cu evitarea contrastelor pronunțate sau ale orbirii, precum și de confortul acustic asigurat/ controlat prin niveluri de zgomot ambiental.

Pentru studiul urmărit au fost alese două locații (un amfiteatru - dimensiunile în plan 16,50x14,00 m și o înălțime de 4,90 m, și o înclinare față de orizontală de 18°02' vezi figura 3.2.; orientarea N-S corespunde laturilor lungi ale amfiteatrului și o sală de seminar - cu o suprafață de 67,50 mp și o înălțime de 3,70 m, având un singur perete exterior orientat spre Est), unde s-au efectuat măsurători sistematice asupra parametrilor principali care influențează confortul termic (temperatura aerului, umiditatea relativă, viteza aerului, concentrația de CO₂).

Măsurătorile s-au efectuat pe intervale de 2,5 ore în amfiteatru corespunzător perioadei de expunere în timpul examenelor de an respectiv 2 ore în sala de seminar unde studenții desfășurau activități didactice. S-a ținut seama de perioadele semnificative climatice – perioada caldă respectiv perioada rece a anului.

În sala de curs condițiile ambientale interioare au fost satisfăcute neînregistrând extreme, diferențele de temperatură au fost până în 3 °C. Viteza aerului nu a depășit valoarea de 0,25 m/s în amfiteatru și de 0,4 m/s în sala de seminar, și s-a observat în toate situațiile creșterea în timp a nivelului concentrației de CO₂. Este de remarcat evoluția crescătoare a temperaturii înregistrate datorită

efectului izolator al ferestrelor termopan respectiv al lipsei reglajului controlat pentru sistemul HVAC.

Din analiza măsurătorilor din amfiteatru pe perioada de vară respectiv de iarnă se poate observa că temperatura interioară în timpul verii prezintă o variație mai mică în timpul orelor față de perioada rece a anului. Temperatura pe perioada rece a anului a prezentat o creștere bruscă în primele 30 minute de la valoarea de 16,5°C până la 18°C, după care a păstrat o valoare mai constantă.

Aceste rezultate obținute pe bază de măsurători au fost comparate cu concluziile desprinse din analiza chestionarelor completate de studenți (subiecți) evidențiindu-se o suprapunere a percepțiilor și rezultatelor măsurate.

Modelul de chestionare prezentat în anexă a urmărit obținerea percepției fiecărui subiect (student) asupra parametrului avut în vedere.

Condițiile de utilizare ale spațiului (amfiteatru) nu au avut posibilitatea controlului/ intervenției prin sistemul HVAC, regimul interior rezultând din interacțiunea parametrilor climatici exterior, ai metabolismului subiecților și parametrilor HVAC.

Evaluarea confortului termic a evidențiat percepția diferită la variații climatice, mai sensibilă la femei decât la bărbați.

Din multiplele de programe am preluat programul TRNSYS pe care l-am adaptat și folosit.

Pentru extinderea plajei de rezultate lucrative s-a apelat la simularea confortului termic utilizând programul de calcul TRNSYS versiunea 16.01.0003 dezvoltată de „Solar Energy Laboratory (University of Wisconsin-Madison)” din Madison, USA 2006. Acest program a fost selecționat după o comparare a performanțelor și a modului de lucru făcute cu alte 5 programe, apreciind flexibilitatea în modelarea unei mari varietăți de sisteme de energetice cu grade de complexitate diferite urmând principiul unei probleme foarte mari la o serie de probleme mai mici care pot fi ușor rezolvate, precum și posibilitatea interconectării de componente sub diferite scheme funcționale și transmiterii informațiilor de la o componentă la alta.

Datele de intrare au fost impuse, ținând cont de criteriile de confort. S-a luat în considerare evoluția parametrilor climatici în funcție de caracteristicile clădirii, instalațiilor HVAC și gradului de ocupare al spațiului. Pentru modelare s-au utilizat următoarele subrutine: Type 56: - modelul de anvelopă dinamic/ adaptivă; Type 109: - model pentru citirea și prelucrarea datelor climatice; Type 65 – model pentru imprimare on-line a rezultatelor; precum și o serie de modele de ecuații

Datorită faptului că problema confortului ambiental este foarte complexă, și este influențată de diverși parametri, se dorește obținerea unor soluții cât mai simple și rezultate cât mai corecte, utilizând un program de calcul simplu detaliat ce rulează în regim dinamic.

Complexitatea problemei și influența unor parametri atât de diverși conduce la ideea că cea mai bună soluție pentru obținerea unor rezultate corecte ar fi folosirea unui program de calcul detaliat, care să ruleze în regim dinamic, dar care să aibă o interfață foarte simplă.

În capitolul 5 sunt propuse o serie de modele de estimare a eficienței activității desfășurate de către studenți pe baza rezultatelor obținute de aceștia la două teste de atenție în funcție de parametri climatici interiori. Pe perioada fiecărui test au fost monitorizați următorii parametri: temperatura, umiditatea relativă și concentrația de CO₂

Pentru obținerea modelelor de estimare a randamentului studenților în funcție de temperatură și de umiditate s-au folosit funcții gaussiene iar pentru

estimarea randamentului studenților în funcție de concentrația de CO₂ s-a folosit funcția lineară.

În final se propune și un model general de aproximare a randamentului studenților în școli obținut pe baza celor trei modele particulare. Coeficienții folosiți pentru acest model au fost calculați cu ajutorul datelor obținute de la testele de percepție senzorială.

Percepția senzorială a parametrii climatici diferă de la subiect la subiect, fiind influențată în principal de starea de sănătate și psihică, perioada de aclimatizare, îmbrăcăminte și nu numai.

Prin compararea celor două curbe de variație a randamentului în funcție de umiditate și respectiv temperatură se poate observa că umiditatea are o influență mai mică asupra activităților școlare față de temperatură.

Randamentul activității în funcție de conținutul de CO₂ prezintă o scădere nesemnificativă față de variația mare a bioxidului de carbon.

Consider că în acest fel am reușit determinarea și validarea acestui model și-l propun pentru viitoare studii ce au la bază calcularea eficienței activității desfășurate de studenți.

6.2 Contribuții personale

După alegerea temei și structurarea pașilor de parcurs, contribuțiile aduse prin lucrare sunt:

- studiul critic pentru un mare volum de material bibliografic referitor la parametri climatici, parametri de confort, starea de sănătate a clădirilor și a ocupanților respectiv interdependența dintre aceștia, aprecierea aportului condițiilor de mediu interior asupra performanțelor profesionale;
- propuneri de mentenanță a clădirilor și instalațiilor HVAC, în vederea sporirii performanțelor didactice;
- abordarea într-o viziune personală a influenței asupra confortului, a parametrilor climatici cumulat cu metabolismul, prin bilanțul energetic al corpului uman;
- prelucrarea critică a datelor din literatura de specialitate privind indicii PMV și PPD, precum și a relațiilor dintre aceștia;
- explicitarea disconfortului termic local;
- caracterizarea parametrilor mediului exterior prin intermediul indicelui ITU (indice temperatură - umiditate);
- prelucrarea cercetărilor privind resimțirea stării de confort pe genuri (feminin și masculin);
- conceperea unui program experimental de determinare a confortului termic pe bază de măsurători;
- conceperea unui chestionar pentru aprecierea (subiectivă) a gradului de confort resimțit de subiecți în cadrul programului de măsurători;
- organizarea spațiului și programului pentru măsurători în două variante (amfiteatru și sală de seminar), inclusiv programul de prelucrare și valorificare a măsurătorilor;
- adaptarea programului TRNSYS versiunea 16, pentru simularea confortului termic;
- elaborarea utilizând programul TRNSYS a două studii de caz;
- selectarea în vederea aprecierii randamentului a două teste de atenție, distributivă și concentrată;

- reprezentarea în 3D a rezultatelor provenite din analiza testelor;
- justificarea modelului de estimare a randamentului didactic;
- propunerea unei relații de estimare a randamentului global al activităților studenților.

6.3 Direcții de cercetare viitoare

Realizarea unui sondaj mai extins privind situația actuală a calității climatului interior din școli și în cât mai multe încăperi. De asemenea, se dorește mărirea numărului de subiecți chestionați pentru obținerea unor rezultate care să aibă o mai mare credibilitate.

Implementarea unui sistem care să permită reglajul parametrilor interiori de confort individual pentru fiecare spațiu, acolo unde este posibil (laboratoare cabinete), precum și elasticitatea reglajului pe spații individualizate ținând seama și de poziție și orientarea geografică.

Elaborarea de documentații tehnice (proiecte) pentru reabilitarea și / sau modernizarea școlilor existente, respectiv realizarea de noi construcții pentru învățământ care să aibe în vedere și posibilitatea controlului și reglării temperaturii, umidității și conținutului de CO₂ în toate sezoanele, în scopul asigurării confortului ambiental și economiei de energie.

Bibliografie

A

[Alfano, 2010] - Alfano d'Ambrosio, F.R. (ed.), Bellia, L., Boerstra, A., van Dijken, F., Ianniello, E., Lopardo, G., Minichiello, F., Romagnoni, P., Gameiro da Silva, M.C. (2010) Environment and Energy Efficiency in Schools (Part 1), REHVA Guidebook Number vol. 13, REHVA, Brussels, Belgium.

[Amai, 2007] - Amai, H., Tanabe, S., Akimoto, T., Genma T. 2007. Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems. Building and Environment 42 (12), 3955 - 3964.

[Auliciems, 2007] Auliciems, A. and Szokolay, S.V. - Thermal Comfort, Passive and Low Energy Architecture International, Design Tools and Techniques, ISBN 0 86776 729 4, 2007

[Anderson, 2006] - Anderson J., Boerstra A., Clements-Croome D., Fitzner K., Hanssen S.O. 2006. Indoor climate and productivity in offices (Wargocki P. and Seppänen O. eds). REHVA Guidebook no.6 Brussels: REHVA

[ASHRAE 55, 2004] - (ASHRAE) American Society Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ISSN 1041-22336.

[ASHRAE HF, 2009] ASHRAE Handbook Fundamentals - 2009, Chapter 9, Thermal Comfort, ISBN 978-1-61583-170-8

B

[Bakó-Biró, 2007] - Bakó-Biró, Zs., Kochhar, N., Clements-Croome, D.J., Awbi, H.B. and Williams, M. (2007) "Ventilation rates in schools and learning performance" In: Proceedings of CLIMA 2007 WellBeing Indoors, The 9th REHVA World Congress, Helsinki, Finland pp. 1434-1440.

[Bakó-Biró, 2008] - Bakó-Biró, Zs, Kochhar, N, Clements-Croome, DJ., Awbi, HB. and Williams, M. (2008). Ventilation rates in schools and pupils' performance using computerized assessment tests" Indoor Air 2008, Copenhagen, The 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate.

[Bancea, 1997] - Bancea O. – Contribuții la optimizarea confortului termic în construcții civile - Universitatea Politehnică Timișoara, Teză de doctorat 1997.

[Bancea, 2000] - Bancea O. Instalații de ventilare și climatizare - Universitatea Politehnică Timișoara, 2000.

[Bedford, 1951] - Bedford, T (1951): Equivalent temperature, what it is, how it's measured. Heating, Piping, Air conditioning. Aug. p. 87-91

[Beshir, 1981] - Beshir, M.Y. and Ramsey, J.D. (1981) Comparison between male and female subjective estimates of thermal effects and sensations, Applied Ergonomics, 12, 29-33.

[Bluyssen, 2008] - Bluyssen PM. Management of the indoor environment: from a component related to an interactive top-down approach. Indoor Built Environment 2008; 17(6):483-95.

[Boerstra, 2010] - Boerstra A, van Dijken Froukje. Indoor environment and energy efficiency of schools. REHVA Journal 2010; 47(5):34-8.

[Belding, 1955] - Belding, H S & Hatch, T F (1955): Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. Am J Heat Pip Air Cond. 27(8):129-136

[Belding, 1956] - Belding, H S & Hatch, T F (1956): Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. ASHRAE Trans. 62:213-236

[Butera, 1998] Butera, F.M. - Principles of thermal comfort, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2 (1998) 39–66

C

[Chow, 2010] - Chow T.T., Fong K.F., Givoni B., Lin Zhang, Chan A.L.S. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment Building and Environment 45 (2010) 2177-2183

[Clements, 2008] - Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bakó-Biró Zs, Kochhar N, Williams M. Ventilation rates in schools. Building and Environment 2008;43(3):362-367.

[Coley, 2004] - Coley, D.A., Greeves, R., 2004, Report R102 for DfES, The Effect of Low Ventilation Rates on the Cognitive Function of a Primary School Class

[CR 1752, 1998] - CR 1752, 1998. Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment. CEN

D

[deDear, 1991] - deDear, R.J., K.G.L. and S.C. Foo. 1991. "Thermal comfort in the humid tropics - Part 1: Climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore", ASHRAE Transactions 97(1):880-886.

[Doboși, 2004] - Doboși I., Dună Ș. - Calitatea mediului interior în spațiile de învățământ în concordanță cu performanțele școlare ale elevilor – publicată și prezentată în cadrul Conferinței Naționale, Iași, 2004.

[Doboși, 2007] - Doboși I. S– Contributions to the optimal relation between the degree of comfort and energy consumption of heating and air conditioning for buildings with multiple functions, PhD thesis, Timisoara, 2007

[Du Bois, 1916] - Du Bois, D & Du Bois, E F (1916): A formula to estimate approximate (body) surface area if weight and height are known. Archives of Internal Medicine, 17:863-871

[Dufton, 1932] - Dufton, A F (1932): Equivalent temperature and its measurement, B R Technical Paper 13. HMSO

E

[Epstien, 1997] – Epstien B.L. – Polluants Clouding Environment Review, August 1997

[Eduardo, 2004] - Eduardo L, Kruger P, Zannin HT. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. Building and Environment 2004; 39:1055-63.

[Energy, 2012] - <http://www.eere.energy.gov/>

F

[Fanger, 1970] - Fanger P.O. - Thermal Comfort Analyses and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, London, New York, ISBN 0-07-019915-9, 1970.

[Fanger, 1973a] - Fanger PO, Hojbjerre J and Thomsen JOB (1973) Man's preferred ambient temperature during the day. Archives des Sciences Physiologiques 27:A395-A402

[Fanger, 1973b] Fanger PO (1973) The variability of man's preferred ambient temperature from day to day. Archives des Sciences Physiologiques 27: A403- A407

[Fanger, 1974] - Fanger P.O. - Thermal comfort, Mc Graw - Hill Inc., New York, SUA, 1974.

[Fanger, 1981] Fanger P.O. - Environmental control for conservation and confort, Proceedings of the CIBS-ASHRAE Conference, London, 1981.

[Fanger, 1982] - Fanger P.O. - Thermal confort, Robert E. Krieger Publishing Company Malabar, Florida, SUA, 1982.

[Fanger, 1985] - Fanger P.O. - Comfort limits for asymmetric thermal radiation, *Energy and Buildings*, no. 8, 1985.

[Fanger, 1988] - Fanger P.O. Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy Build.* 1988;12(1):1-6.

[Fanger, 2002] - Fanger P.O., Toftum J. - Extension of the PMV model to non airconditioned buildings in warm climates, *Energy and Buildings* 34 (2002) 533-536.

[Fisk, 2000] Fisk W.J. Review of health and productivity gains from better IEQ. In: *Proceedings of healthy buildings*. Espoo, Finland: Helsinki University of Technology; 2000. p. 23-34.

[Fisk, 2007] Fisk W., Seppanen O. - Providing Better Indoor Environmental Quality Brings Economic Benefits, Published in *Proceedings of Clima 2007 Well Being Indoors*, June 10-14, 2007, Helsinki. Paper A01. Published by FINVAC, Helsinki.

G

[Gagge, 1936] - Gagge, A P (1936): The linearity criterion applied to partitioned calorimetry. *Am J of Physiology*. 116:656-668

[Gagge, 1971] - Gagge, A P, Stolwijk, J A J & Nishi, Y (1971): An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Trans.* 77(pt.1):247-262

[Gagge, 1974] - Gagge, A P, Gonzales, R R & Nishi, Y (1974): Physiological and physical factors governing man's thermal comfort, discomfort and heat tolerance. *Build International*, 7:305-331

[Givoni, 1969] - Givoni, B (1969): *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers

[GlobalAsthm, 2012] - <http://www.globalasthmareport.org/>

[Google, 2012] - <http://maps.google.com/>

[Green, 1974] Green G.H., The effect of indoor relative humidity on absenteeism and colds in schools, *ASHRAE Transactions* 80 (2) (1974) 131-141.

[Griefahn, 2001] - Griefahn, B. and Kunemund, C. 2001, The effects of gender, age and fatigue on susceptibility to draft discomfort, *Journal of Thermal Biology*, 26, 395-400.

[Griffiths, 2008] - Griffiths M., M. Eftekhari, Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom, *Energy and Buildings* 0 (4) (2008) 556-560.

[Grivel, 1991] - Grivel F, Candas V. Ambient temperatures preferred by young European males and females at rest *Ergonomics*. 1991 Mar; 34(3):365-7

H

[Hameed, 2009] - Hameed A, Amjad S. Impact of office design on employees' productivity: a case study of banking organisations of Abbottabad, Pakistan. *J Public Aff Adm Manag* 2009; 3(1):1-13.

[Hannula, 2000] - Hannula M., Niemela R., Rautio S., Reijula K. - The effect of Indoor Climate on Productivity, *Proceedings of Healthy Buildings 1* (2000) 659-664.

[Hanssen, 1997] - Hanssen S-O. 1997. Economical consequences of poor indoor air quality and its relation to the total building operation costs. *Proc. EuroFM/IFMA Conference & Exhibition, Torino, Italy*, pp. 1-21, International Facility Management Association.

[Hanssen, 2002] - Hanssen S-O. - Role of Human Exposure Assessment in Air Quality Management, Report on the Joint Workshop of World Health Organization Joint Research Center European Concerted Action "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure" Bonn, Germany, 14-15 October 2002

[Hashiguchi, 2002] - Hashiguchi, N., Feng, Y. and Tochihara, Y. (2010) Gender differences in thermal comfort and mental performance at different vertical air temperatures, *European Journal of Applied Physiology*, 109, 41-48.

[Havenith, 2002] - Havenith G, Holmér I and Parsons K (2002) Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings* 34: 581-591

[Houdas, 1972] - Houdas Y, Colin J, Timbal J, Boutelier C and Guieu JD (1972) Skin temperatures in warm environments and the control of sweat evaporation. *Journal of Applied Physiology* 33(1): 99-104

[Houghten, 1923] - Houghten, F C & Yagloglou, C P (1923): Determination of comfort zone. *Trans Am Soc Heat Vent Engrs.* 29:361

[Houghten, 1923a] - Houghten, F C & Yagloglou, C P (1923/a): Determining equal comfort lines. *J Am Soc Heat Vent Engrs.* 29:165

[Humphreys, 1998] - Humphreys M and Nicol F (1998) Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions* 104(1B): 991-1004

[Hütte, 1995] – Hütte - Manualul Inginerului, Fundamente, Editura Tehnică, București, 1995, ISBN – 793-31-0913-4

I

[Ishii, 1990] - Ishii Akio, Sakakibara Noriko, Katayama Tadahisa , Tsutsumi Jun-ichiro, Nishida Masaru - An experimental study on human sensation to airflow in naturally ventilated rooms *Environment International* Volume 16, Issue 1, 1990, Pages 61–70

[ISO 7243, 2003] - ISO 7243, 2003, Hot Environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization.

[ISO 8996, 2004] - ISO 8996:2004 , Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate

J

[Hensen, 2011] - Hensen, J. L. M. and Lamberts, R. (Eds.), 2011. *Building Performance Simulation for Design and Operation*, Spon Press, London.

K

[Kroner, 2000] - Kroner W.M. - Employee productivity and the intelligent workplace, in: Derek Clements-Croome (Ed.), *Creating The Productive Workplace*, 2000 ISBN: 0-419-23690-2.

[Karjalainen, 2007] - Karjalainen S (2007) Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. *Building and Environment* 42: 1594–1603

[Karjalainen, 2012] - Karjalainen S - Thermal comfort and gender: literatura review, *Indoor Air* 2012, 22:96-109

L

[Lan, 2008] - Lan L, Lian Z, Liu W, Liu Y. - Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people., *Eur J Appl Physiol.* 2008 Mar;102(4): 471-80.

[Lan, 2011] Lan L., Wargocki P. , Wyon D. P. , Lian Z. –“Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance” , *Indoor Air* , Volume 21, Issue 5, pages 376–390, October 2011

[Langkilde, 1973] - Langkilde G, Alexander K, Wyon DP and Fanger PO (1973) Mental performance during slight cool or warm discomfort. *Archives des Sciences Physiologiques* 27: A511-A518

[Lee, 2004] - Lee Joo-Young, Choi Jeong-Wha - Influences of clothing types on metabolic, thermal and subjective responses in a cool environment, *Journal of Thermal Biology* Volume 29, Issues 4–5, May–July 2004, Pages 221–229

[Liu, 2011] - Liu Weiwei, Lian Zhiwei, Deng Qihong, Liu Yuanmou - Evaluation of calculation methods of mean skin temperature for use in thermal comfort study Building and Environment, Volume 46, Issue 2, February 2011, Pages 478–488

M

[Manualul de Instalații, 2010] - Manualul de instalații, Instalații de Ventilare și climatizare, Editura ARTECNO București, 2010, ISBN: 973-85936-7-1.

[Mănescu, 1985] - Mănescu S. - "Tratat de igiena. Vol. II", Ed. Medicala, Bucuresti, 1985

[McNall, 1967] - McNall, P.E., Jaax, J., Rohles, F.H., Nevins, R.G. and Springer, W.E. (1967) Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity, ASHRAE Transactions, 73, I.3.1-I.3.14.

[McIntyre, 1980] - McIntyre D.A. 1980. Indoor climate, Applied Science Publishers Ltd, London.

[Mendell, 2003] - Mendell MJ. Indices for IEQ and building-related symptoms. Indoor Air 2003;13(4):364-8.

[Mendell, 2005] - Mendell M.J., G.A. Heath, Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature, Indoor Air 5 (1) (2005) 27–52.

[Missénard, 1959] - Missénard, A (1959): On thermally equivalent environment. IHVE J, 27:231

N

[Nevins, 1966] - Nevins, R.G., et al. 1966. "A temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons." ASHRAE Transactions 72(1):283 – 291.

[Nishi, 1981] - Nishi, Y. 1981. Measurement of thermal balance of man. In Bioengineering Thermal Physiology and Comfort, K. Cena and J.A. Clark, eds. Elsevier New York.

[NP 008, 1997] - NP 008-97 - Normativ privind igiena compoziției aerului în spații cu diverse destinații, în funcție de activitățile desfășurate în regim de iarnă – vară

O

[Olesen, 2000] - Olesen B. - New developments in international standards for the indoor thermal environment, Healthy buildings 2000 Conference, Proceedings Vol 2.

[Olesen, 1979a] - Olesen B., Thorshange J. - Differences in confort sensations in spaces heated by different methods: Danish experiments, Indoor climate, Danish Building Research Institute, Copenhagen, 1979.

[Olesen, 1979] - Olesen B., Scholer M., Fanger P.O. - Discomfort caused by vertical air temperature differences and comfort, Indoor climate, Danish Building Research Institute, Copenhagen, 1979.

[Olesen, 1973] - Olesen BW and Fanger PO (1973) The skin temperature distribution for resting man in comfort. Archives des Sciences Physiologiques 27: A385-A393

P

[Parsons, 2002] - Parsons, K.C. (2002) The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort, Energy and Buildings, 34, 593-599.

[Păcurar, 2009] - C. Păcurar, Asigurarea unui climat sănătos și confortabil ocupanților din spațiile destinate birourilor 18th Conference „Building services and ambiental comfort”, Timișoara, România, 2009

[Păcurar, 2011a] - Păcurar C. , Retezan A. , Mocofan T. – Analyze of standards on thermal comfort, 20th Conference „Building services and ambiental comfort”, Timișoara, România, 7-8.04.2011, pg. 15-23

[Păcurar, 2011b] - Păcurar C., Retezan A.– Study of environmental comfort in education building based on the determination of subject and object , ICEE – Ed. XXI – IASI 7-8.07.2011, pg. 79-88

[Păcurar, 2011c] – Păcurar C., Retezan A. – Case study of environmental comfort in a classroom , 42nd international congress and exhibition for heating, refrigeration and air-conditioning, BELGRAD, SERBIA 30th November – 2nd December 2011

[Păcurar, 2012] - Păcurar C. , Retezan A.– Comparison of the perceptions of ambiental comfort sensation in an amphitheater during the summer and winter time; 7th International Symposium KOD 2012 Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering Balatonfüred, Hungary 24th May – 6th May 2012 , p. 261-266

[Pellerin, 2004] – Pellerin, N., Deschuyteneer, A. and Candas, V. (2004) Local thermal unpleasantness and discomfort prediction in the vicinity of thermoneutrality, European Journal of Applied Physiology, 92, 717-720.

R

[Retezan, 2000] - Retezan A. - Confortul ambiental - Importanță și necesitate – Universitatea Politehnică Timișoara, Instalații pentru începutul mileniului trei volumul 1, Sinaia octombrie 2000.

[Retezan, 2001] - Retezan A. - Confortul ambiental – Sănătatea – O problemă actuală și de viitor a clădirilor - Universitatea Politehnică Timișoara, Aprilie 2001.

[Retezan, 2002] - Retezan A. , Dobosi I. S., Retezan R. – The healths of constructions necessity, possibilities, achievements, Kosice, 2002, p. 66-69.

[Retezan, 2012] - Retezan R., Retezan A., Păcurar C., Clădirea – Componentă a vieții, Instalații pentru Construcții și Economia de Energie – Ed. XXII – Iași 5-6 iulie 2012, ISSN 2069-1211, pg. 26-32

[Retezan, 2012a] - Retezan A., Păcurar C., Bancea O. Environmental thermal comfort according to evaluation of climate indices, ICEE – Ed. XXII – Iași 2012

[Rutman, 2000] - Rutman E. – Contribution a l'evaluation de la qualite des ambiances interieures climatisees, These pour obtenir le grade de docteur, Lyon 2000.

S

[Săvulescu, 1984] - Săvulescu, T. D., Instalații de ventilare și încălzire, Tehnica, Bucharest, 1984

[Sârbu, 2009] - Sârbu, I. & Bancea, O. (2009). Analysis of thermal and olfactory comfort in closed spaces, WSEAS Transaction on Heat and Mass Transfer, 4(3), pp. 65-74, ISSN 1790-5079.

[Seppänen, 2006] - Seppänen O., W. J. Fisk, and Q. H. Lei, "Effect of temperature on task performance in office environment", 5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air Conditioning. p. 53-16, 2006

[Shendell, 2004] - Shendell D.G., R. Prill, W.J. Fisk, M.G. Apte, D. Blake, D. Faulkner, Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho, Indoor Air 4 (5) (2004) 333–341.

[Smedje, 1996a] - Smedje G., Norback D., Edling C., Mental performance by secondary school pupils in relation to the quality of indoor air, in: Indoor Air'96, Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 1996; 1:413-9.

[Smedje, 1996b] - Smedje, G., Norback, D., Wessen, B. and Edling, C. (1996) "Asthma among school employees in relation to the school environment," In: Proceedings of Indoor Air '96: The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, July, 1996, Vol. 1, 611-616.

[Smedje, 1997] - Smedje, G., Norback, D., and Edling, C. (1997) "Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure," *Indoor Air*, 7, 143-150.

[Sonne, 2006] - Sonne JK, Vieira RK, Cummings JB. School conditions will continue to earn failing grades. Florida Solar Energy Center (FSEC); 2006. rapport FSEC-PF 410-06.

[SR EN 13779, 2008] - SR EN 13779:2008 - Ventilarea clădirilor cu altă destinație decât de locuit.

[SR EN 7726, 2001] - SR EN 7726: 2001 – Ambianțe termice. Aparate și metode de măsurare a mărimilor fizice.

[SR EN ISO 7730, 2006] - SR EN ISO 7730:2006 - Ambianțe termice moderate. Determinarea indicilor PMV și PPD și specificarea condițiilor de confort termic.

[STAS 6648, 1982] - STAS 6648/2-82 Instalații de ventilare și climatizare. Parametri climatic exteriori.

T

[Teodoreanu, 2007] - Teodoreanu E., Bunescu I. - Thermal Comfort Present Environment And Sustainable Development, Nr. 1, 2007, pp. 134-142

[Tiller, 2010] - Tiller Dale K.; Wang Lily M.; Musser Amy; Radik M.J.- Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance, *ASHRAE Transactions* 2010;116(PART 2):522-540.

[Todde, 2000] - Todde V - Perception and sensitivity to horizontal turbulent air flows at the head region, *I*, 2000 Dec;10(4):297-305.

[TRNSYS, 2006a] TRNSYS, Version 16: A transient system simulation program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, March 2006

[TRNSYS, 2006b] - Multizone Building (Type56-TRNBuild), TRNSYS16 Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin

U

[U.S. Env, 2004] - U.S. Environmental Protection Agency Buildings and the Environment: A Statistical Summary. US EPA Green Building Workgroup, December 20, 2004, retrieved June 21, 2009 from <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/gbstats.pdf>.

V

[van der Linden, 2002] - van der Linden A.C., Boerstra A.C., Raue A.K., Kurvers S.R. – Thermal indoor climate building performance characterized by human comfort response, *Energy and Buildings* 34 (2002) 737–744.

[VDI 4706, 2009] - VDI 4706: 2009/8 Planning and dimensioning of the indoor climate (VDI ventilation code of practice)

[Vischer, 1996] - Vischer J (1996) Workspace strategies: environment as a tool for work. Chapman & Hall. Cited by Schewede 2006

W

[Walinder, 1997a] - Walinder, R., Norbach, D., Wieslande, G.; Smedje, G., and Erwall, C., (1997a) Nasal congestion in relation to low air Exchange rate in school, *Acta Otolaryngol*, 117, 724-727

[Walinder, 1997b] - Walinder, R., Norbach, D., Wieslande, G.; Smedje, G., and Erwall, C., (1997a) Nasal mucosal swelling in relation to low air Exchange rate in school, *Indoor Air*, 7, 198-205

[Walinder, 1998] - Walinder, R., Norbach, D., Wieslande, G.; Smedje, G., and Erwall, C. and Venge, P. (1998) Nasal patency and biomarkers in nasal lavage – the significance of air Exchange rate and type of ventilation in school, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 71, 479-486.

[Wargocki, 2006] - Wargocki, P. and Wyon, D. P. (2006) 'Effects of HVAC on Student Performance', *ASHRAE Journal*, October, pp22-28

[Wargocki, 2006a] - Wargocki, P. and D.P. Wyon. 2006a. "The effects of outdoor air supply rate and supply air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children (1257-RP)." HVAC&R Research (submitted).

[Wargocki, 2006b] - Wargocki, P. and D.P. Wyon. 2006b. "The performance of schoolwork by children is affected by classroom air quality and temperature." Proceedings of Healthy Buildings 2006, Vol. A, pp. 379.

[Wargocki, 2007] - Wargocki P. and Wyon D.P., 2007, The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (1257-RP), HVAC & R Res., 13, 193–220.

[Wikipedia, 2009] - http://en.wikipedia.org/wiki/Body_surface_area

[Wikipedia, 2010] - <http://ro.wikipedia.org/wiki/Timișoara>

[Wyndham, 1973] - Wyndham CH 1973, Effects of heat stress upon human productivity. Archives des Sciences Physiologiques 27: A491-A497

[Wyon, 1972] - Wyon, D.P, Holmberg, I - Systematic observation of classroom behaviour during moderate heat stress. - Educational & Psychological Interactions, Nov 1972, 14.

[Wyon, 1973] Wyon DP (1973) The effect of moderate heat stress on typewriting performance. Archives des Sciences Physiologiques 27: A499-A509

[Wyon, 2006] - Wyon, D.P. and Wargocki, P. (2006) Room temperature effects on office work. In: Clements-Croome, D. (ed) Creating the Productive Workplace, 2nd edn, London, Taylor & Francis, 181–192.

[Wyon, 1970] - Wyon, D.P. 1970. "Studies of children under imposed noise and heat stress." Ergonomics 13(5):598 – 612.

[WHO, 2012] - http://www.who.int/global_health_histories

Z

[Zhang, 2003] - Zhang H. Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environment. Ph.D. thesis, UC Berkeley; 2003. 415 pp.

Terminologie

Adaptările fiziologice, psihologice sau de comportament ale ocupanților clădirilor la mediul termic interior, indus de condițiile termice de exterior.

Anvelopa clădirii: Totalitatea suprafețelor elementelor de construcție perimetrice, care delimitează volumul interior (încălzit) al unei clădiri, de mediul exterior sau de spații neîncălzite din exteriorul clădirii.

Aporturi de căldură interne - Căldură furnizată în interiorul clădirii de ocupanți (căldură sensibilă metabolică) și de aparate, altele decât instalațiile de încălzire a spațiilor și a apei calde (iluminat, aparate casnice, echipamente de birou etc.).

Calitatea aerului interior este caracteristica (însușirea) acestuia de a avea un conținut de poluanți care nu depășește concentrațiile sau dozele admise (asimilate de persoane în perioada de ocupare), asigurând astfel igiena și sănătatea persoanelor.

Climatizarea este procesul prin care în interiorul încăperilor se asigură o temperatură controlată a aerului, indiferent de procesele termice din interiorul sau din exteriorul clădirii. Climatizarea presupune încălzirea și răcirea controlată a spațiilor. Prin climatizare se urmărește realizarea confortului termic al ocupanților din încăperi.

(2) Prin climatizare se poate realiza și controlul umidității aerului interior, dar nu este o situație implicită.

(3) În procesul de climatizare se poate trata și aerul proaspăt necesar ventilării; în acest caz, climatizarea este cuplată cu ventilarea.

Clădire: ansamblu de spații cu funcțiuni precizate, delimitat de elementele de construcție care alcătuiesc anvelopa clădirii, inclusiv instalațiile aferente, în care energia este utilizată pentru asigurarea confortului higrotermic interior. Termenul clădire definește atât clădirea în ansamblu, cât și părți ale acesteia, care au fost proiectate sau modificate pentru a fi utilizate separat.

Clădire foarte puțin poluantă - o clădire realizată din materiale cu emisii foarte mici de poluanți (ca de exemplu piatra, sticla, metalul) și în care nu se desfășoară activități cu emisii poluante și nu există surse poluante (ca de exemplu fum de țigară). Informativ, emisiile (TCOV, formaldehidă, amoniac etc.) sunt date în anexa C din standardul SR EN 15251:2007.

Clădire puțin poluantă - o clădire realizată din materiale cu emisii mici de poluanți și în care activitățile cu emisii poluante sunt limitate sau interzise. Informativ, emisiile (TCOV, formaldehidă, amoniac etc.) sunt date în anexa C la standardul SR EN 15251 :2007.

Clădire poluantă - o clădire care nu corespunde tipurilor de clădire foarte puțin sau puțin poluantă.

Confortul termic - este senzația de bună stare fizică rezultată din faptul că schimbul de căldură dintre corpul uman și mediul înconjurător se realizează fără suprasolicitatea sistemului termoregulator.

Condiționarea aerului este procesul prin care se realizează controlul temperaturii, umidității, vitezei și de cele mai multe ori și a purității aerului interior. Termenul este utilizat în special pentru încăperi cu condiții tehnologice speciale.

Indicele de curent (DR) este o estimare a procentului de persoane nemulțumite din cauza « curentului » produs de viteza și intensitatea turbulenței aerului care produce inconfort, în anumite condiții de temperatură.

Orele de ocupare ale clădirii sunt acelea în care majoritatea ariei clădirii este folosită în scopul specific. Orele în afara acestei perioade sunt considerate ca fiind de neocupare.

Procentul de persoane nemulțumite (PPD) este o estimare a procentului de persoane dintr-un grup care are o anumită activitate și un anumit grad de izolare a îmbrăcăminții, care consideră că nivelul de confort termic dintr-o încăpăre cu anumiți parametri, este nesatisfăcător.

Temperatură medie radiantă: temperatură superficială uniformă a închiderii unei incinte cu care un ocupant ar schimba aceeași cantitate de căldură prin radiație ca și în cazul unei incinte reale, caracterizată de temperaturi uniforme diferite ale închiderii.

Temperatura operativă a unei încăperi date, este temperatura uniformă a unei încăperi echivalente în care schimbul de căldură prin convecție și prin radiație al unei persoane, este același cu cel din încăpărea dată; pentru viteze ale aerului mai mici de 0,4 m/s și temperaturi medii de radiație mai mici de 500C, temperatura operativă se poate calcula ca media aritmetică dintre temperatura aerului și temperatura medie de radiație.

Temperatura suprafeței interioare: temperatura suprafeței interioare a unui element al anvelopei

În majoritatea regiunilor (depinzând de lungimea zilei, de nivelul radiațiilor solare locale, de media vitezei vântului lunară etc.) **sezonul rece** se referă de obicei la perioadele cu medie a temperaturilor din exterior (medie între temperatura maximă a zilei și temperatura minimă a nopții), sub 12 - 13°C.

Sezonul de răcire Parte a anului în timpul căreia (cel puțin părți ale zilei) dispozitivele de răcire sunt folosite pentru a păstra temperatura din interior la nivelurile convenite. Lungimea sezonului de răcire diferă substanțial de la țară la țară (de la regiune la regiune).

În majoritatea regiunilor (depinzând de însușirea zilei, de nivelul local de radiații solare, de viteza medie lunară a vântului, etc.) **sezonul cald** de obicei se referă la perioadele în care media temperaturilor din exterior este peste 12°C - 13°C.

Sezonul de încălzire - Parte a anului în timpul căreia (cel puțin părți ale zilei) dispozitivele de încălzire sunt folosite pentru a păstra temperatura interioară la nivelul convenit. Lungimea sezonului de încălzire diferă substanțial de la țară la țară (de la regiune la regiune).

Ventilarea este procesul prin care se aduce în încăperi, aer proaspăt (exterior) și se elimină din încăperi aer poluat. Astfel se realizează diluarea/eliminarea poluanților exteriori: umiditate, gaze, vapori, praf. În funcție de energia care asigură deplasarea aerului, ventilarea poate fi naturală, mecanică sau hibridă.

Ventilarea naturală se realizează datorită diferențelor de presiune dintre interiorul și exteriorul clădirii, create de factori naturali: diferențe de temperatură și vânt. Ventilarea mecanică se realizează prin mijloace mecanice (ventilatoare). În cazul ventilării hibride, mijloacele mecanice intră în funcțiune numai când diferențele de presiune create de factorii naturali sunt insuficiente pentru realizarea debitului de aer necesar.

Ventilarea naturală poate fi **organizată** sau **neorganizată**. În cazul ventilării organizate, sistemul de ventilare (deschideri, conducte) este conceput pentru a realiza procesul în condițiile cerute de normele sanitare (concentrații admise, grad

de expunere admis etc). Ventilarea neorganizată, numită și **aerisire**, se face ca urmare a neetanșeităților clădirii sau prin deschiderea ferestrelor.

Climatizarea este procesul prin care se asigură în încăperi, o temperatură interioară prescrisă, inclusiv în perioada caldă când este necesară răcirea. Climatizarea se poate realiza cu aparate de climatizare sau prin sisteme numai aer sau prin sisteme aer-apă (cu ventiloconvectoare, ejectoconvectoare, grinzi de răcire). Debitul de aer al instalațiilor de climatizare poate fi constant sau variabil. Un caz particular îl constituie climatizarea numai aer, de înaltă presiune, cu debit de aer variabil (**VRV**).

Instalațiile de aer condiționat sunt un caz particular al instalațiilor de climatizare care asigură în interiorul încăperilor temperatura și umiditatea aerului, cu limite mici de variație; de multe ori, se controlează strict și viteza curenților de aer și concentrația prafului. Din cauza consumurilor mari de energie, astfel de instalații sunt justificate în sălile de operații, în laboratoare și în industrie, în cazul unor procese tehnologice cu cerințe speciale pentru condițiile interioare.

Votul mediu previzibil (PMV) reprezintă un indice care exprimă senzația previzibilă de confort termic a unui grup de persoane dintr-o încăpere cu parametri dați, în anumite condiții de activitate și cu un grad de izolare termică a îmbrăcămintii cunoscut.

Zona termică a clădirii reprezintă o parte dintr-o clădire care este caracterizată prin anumiți parametri ai ambianței termice interioare și printr-un anumit profil de variație a sarcinii termice, rezultat din orientarea clădirii, din modul de utilizare a spațiului ocupat, a distribuției surselor interioare de căldură etc.

Zona ocupată a unei încăperi este acea parte a încăperii în care se desfășoară activitatea din încăpere și în care trebuie să se asigure parametrii de calcul pentru calitatea aerului și confortul termic; distanțele față de elementele de construcție perimetrice care se respectă la constituirea zonei ocupate sunt stabilite conform § 6.2 din standardul SR EN 13779:2007.

Anexe

ANEXA A – Teste de atenție distributivă (Test P)

NUME ȘI PRENUME _____ VÂRSTA _____
DATA EXAMINĂRII ____/____/____ SEMNĂTURA _____

TEST ATENȚIE DISTRIBUTIVĂ SEMNALE

În partea de jos a foii aveți niște dreptunghiuri și în fiecare câte un semafor cu 1 sau 2 brațe. Brațele sunt drepte sau oblice, într-un sens sau altul. Acestea sunt pe post de model în partea superioară. Veți găsi 99 de semafoare. Sarcina este să luați în ordinea scrisă – cititului (sus-jos, stânga-dreapta) și să comparați fiecare semafor cu modelele. Numărul care însoțește semaforul îl treceți în căsuța modelului cu care seamănă. Sunt semafoare care nu seamănă cu niciunul din modele și treceți peste ele.

A	B	C	D	E	F	G				

ANEXA B – Test de atenție concentrată (Test K)

NUMELE I PRENUMELE _____ VÂRSTA _____

DATA EXAMINĂRII ____/____/____ SEMNĂTURA _____

KRAEPELIN

- dacă al doilea număr din pereche este mai mic decât primul, se scade din primul (-)
- dacă al doilea număr din pereche este mai mare decât primul, cele două numere se adună (+)
- ATENȚIE! Nu faceți calculul, scrieți între cele două cifre doar semnul operației.

4	5	3	7	2	9	1	5	6	4	3	8	9	5	2	4	3	6	7	8	1	9	3
6	8	7	9	5	4	2	3	8	7	4	6	5	9	1	2	8	6	5	4	3	7	9
5	4	3	8	5	3	7	6	2	5	8	4	5	9	6	4	2	3	9	5	2	5	7
5	4	3	8	1	6	8	9	7	9	1	3	5	7	6	7	8	2	9	3	2	7	8
6	2	9	4	2	3	5	7	9	8	2	5	3	1	4	7	5	3	2	9	8	4	7
3	5	1	7	8	6	3	4	2	9	8	6	5	7	9	2	4	6	5	1	9	7	4
4	2	9	3	6	3	2	1	5	4	7	3	5	8	2	9	3	5	4	7	6	9	4
8	3	1	7	6	8	2	4	9	8	5	7	4	3	6	9	1	8	3	2	6	9	1
4	3	2	7	2	9	6	4	3	9	8	5	2	8	5	4	9	1	2	7	8	5	3
2	1	7	6	3	4	9	7	6	5	9	8	3	2	4	3	1	7	6	4	5	9	1
7	3	5	8	2	3	6	9	8	2	5	7	3	2	1	4	1	6	4	8	9	5	3
3	5	7	1	8	9	6	3	8	4	9	1	2	4	6	8	9	5	3	7	9	3	1

ANEXA C – Chestionare folosite pentru evaluare senzației subiective a confortului ambiental

CHESTIONAR – EVALUAREA SENZAȚIEI SUBIECTIVE A CONFORTULUI AMBIENTAL – de PAĞLARAR C.

A. SECȚIUNE CARE TREBUIE COMPLETATĂ DE CĂTRE OCUPANȚI

- Vârsta: 14-18 ani 18-26 ani 26-35 ani 35-65 ani >65 ani;
- Sex: Masculin Feminin;
- Data: ___/___/___ (ziua/luna/an) Ora: ___:___;
- Cu ce mijloc de transport ați venit la locul de activitate și durata: pe jos, mașina proprie, mijloc transport, minge;
- De cât timp sunteți în clădire (___ ore) și cât timp aproximativ mai aveți de stat în această clădire (___ ore);
- Emnemenții articolele vestimentare (șosete, sandale/pantof, chilot, șort/pantaloni/training, maiou, rochie, fustă, tricou/camășă,...);



- Precizați care este poziția dvs în încăpere:
 lângă fereastră, perete opus fereastră, mijloc;
- Nivelul dvs de activitate (1 met = 58,2 W/m²):
 repaus așezat (1,0 met) birou, școală (1,2 met) activitate ușoară în picioare (1,6 met) activitate medie (2,0 met)
- Care este senzația dvs de confort termic:
 cald [+3], călduț [+2], ușor cald [+1], neutru [0], ușor răcoros [-1], răcoros [-2], rece [-3].
- Cum percepeți calitatea aerului:
 foarte rea, bună, suportabilă, aproape suportabilă, insuportabilă;

COMENTARIILE GENERALE:

- Cum doriți să fie temperatura în încăpere:
 mai scăzută, la fel, mai ridicată;
- Cum percepeți umiditatea interioară:
 aer uscat, aer umed, nesensibil;
- Cum percepeți senzația de curent de aer:
Senzație de curent la nivelul capului da, nu, Senzație de curent la nivelul picioarelor da, nu;
- Cum percepeți intensitatea mirosurilor:
 nici un miros, slab mirositor, moderat, puternic, foarte puternic, nesuportabil;
- Cum percepeți intensitatea luminoasă:
 slabă, puternică, moderată;
- Cum percepeți intensitatea zgomotului:
 inexistent, slabă, puternică, moderată;

B. SECȚIUNE COMPLETATĂ DE CĂTRE EVALUATOR

- Condiții de sezon (perioadă): Iarnă – Iunie, Iulie – I august, I aug. – I noiembrie, I noiembrie – I martie;
- Cerul: Senin, Mixt, Înnorat;
- Temp. ext.: ___ [°C], Umiditatea relativă ext.: ___ [%], Presiunea atmosferică: ___ [Pa]
- Zona studiată:
 - Tipul clădirii/încăperii;
 - Sistemul de încălzire (radiatoare, ventilconv., CTA,...);
 - Sistemul de răcire (Split, Ventilconv., CTA);
 - Temp. int a aerului: ___ [°C], Umid. relativă int.: ___ [%], Viteza aerului int.: ___ [m/s];
 - Intensitatea luminoasă: ___ [lux];
 - Intensitatea zgomotului: ___ [dB];
 - Conținutul de CO₂: ___ [ppm];
 - Răzvrăta termică aproximativă a îmbrăcămintii I_c= ___ [clo]= ___ [m²/W] (calculat pe baza datelor de la pct A.6; 1clo=0,155 m²/W)